

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

**UMA SOLUÇÃO ALTERNATIVA PARA PRORROGAÇÃO
DA VIDA ÚTIL DOS REBOCOS COM SALINIDADE EM
EDIFÍCIOS HISTÓRICOS**

Tese de Doutorado

Sérgio Castello Branco Nappi

Florianópolis
2002

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

**UMA SOLUÇÃO ALTERNATIVA PARA PRORROGAÇÃO
DA VIDA ÚTIL DOS REBOCOS COM SALINIDADE EM
EDIFÍCIOS HISTÓRICOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Produção da Universidade
Federal de Santa Catarina como requisito parcial
para a obtenção do título de Doutor em
Engenharia de Produção

Florianópolis
2002

Sérgio Castello Branco Nappi

**UMA SOLUÇÃO ALTERNATIVA PARA PRORROGAÇÃO DA
VIDA ÚTIL DOS REBOCOS COM SALINIDADE EM EDIFÍCIOS
HISTÓRICOS**


**Esta tese foi julgada e aprovada para a obtenção do título de Doutor em
Engenharia de Produção no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção da Universidade Federal de Santa Catarina**

Florianópolis, 26 de abril de 2002




Prof. Ricardo Miranda Barcia, Dr.
Coordenador do Programa

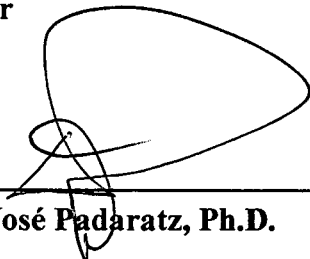
BANCA EXAMINADORA




Prof. Roberto de Oliveira, Ph.D.
Orientador



Profª Vera Helena Moro Bins Ely, Dra.
Moderadora

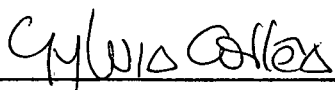


Prof. Ivo José Padaratz, Ph.D.
Membro



Prof. Humberto Gracher Riella, Dr. Ing
Membro

Prof. Hugo Camilo Lucini, Dr.
Membro



Profª Sylvia Regina Morel Corrêa, Dra.
Membro

**A todos os meus familiares, em especial,
Berenice e Vanessa pela partilha dos
grandes momentos da vida**

AGRADECIMENTOS

**À Deus por permitir que seja o que sou.
Aos homens que através de sua sabedoria realizaram ações que
influenciaram positivamente a minha maneira de pensar e agir e aos
não tão sábios que realizaram atos que procuro evitar no transcorrer
da minha vida**

**À Universidade Federal de Santa Catarina;
aos professores e colegas do Curso de Pós-Graduação;
aos professores, alunos e servidores do Departamento de Arquitetura e Urbanismo
e, em especial,
ao Prof. Roberto de Oliveira, pela orientação.**

SUMÁRIO

Lista de Fotografias	ix
Lista de Quadros	xi
Lista de Gráficos	xii
Lista de Tabelas	xiii
Resumo.....	xiv
Abstract	xv
1 INTRODUÇÃO	01
1.1 Justificativa	01
1.2 Objetivo Geral.....	03
1.3 Objetivos Específicos	03
1.4 Metodologia	04
1.5 Limitações.....	05
1.6 Estrutura do trabalho	06
2 EDIFÍCIOS HISTÓRICOS	07
2.1 Introdução	07
2.2 Os edifícios antigos	08
2.3 Preservação e conservação dos edifícios	09
2.3.1 Princípios gerais na conservação	11
2.4 Graus de intervenção	12
2.4.1 Prevenção da deterioração	13
2.4.2 Preservação do estado existente	13
2.4.3 Consolidação do edifício	14
2.4.4 Restauração	14
2.4.5 Reabilitação	15
2.4.6 Reconstrução	15
2.5 Evolução do conceito de restauração	15
2.6 Etapas para conservação	17
2.7 Considerações finais	19

3 AGREGADOS, AGLOMERANTES E ARGAMASSAS	21
3.1 Generalidades	21
3.2 Agregados	21
3.3 Aglomerantes	22
3.3.1 Gesso	23
3.3.2 Cal e pozolana	23
3.3.3 Cal hidráulica	25
3.3.4 Cimento Portland	26
3.4. Argamassas	26
3.4.1 Funções e classificação das argamassas	27
3.4.2 Microestrutura das argamassas	28
3.4.3 Mecanismos de transporte nas argamassas	29
3.4.4 Ensaaios nas argamassas	29
3.4.4.1 Teor de umidade	30
3.4.4.2 Grau de saturação	30
3.4.4.3 Grau de umidificação	30
3.4.4.4 Adsorção de água	31
3.4.4.5 Presença de sais	31
3.4.4.6 Concentração hidrogeniônica	31
3.4.5 Argamassas de restauro	32
3.5 Considerações finais	34
 4 OS FENÔMENOS DA UMIDADE E SALINIDADE	 36
4.1 Generalidades	36
4.2 Umidade	37
4.2.1 Formas de manifestação de umidade	38
4.2.1.1 Umidade do terreno	39
4.2.1.2 Umidade de construção	40
4.2.1.3 Umidade de precipitação	42
4.2.1.4 Umidade de condensação	43
4.2.1.5 Umidade devido à fenômenos de higroscopicidade	43
4.2.1.6 Umidade devido a outras causas	45

4.3 Salinidade	45
4.3.1 Definição	46
4.3.2 Duas citações históricas dos sais nas construções	51
4.3.3 Fontes de contaminação	52
4.3.3.1 Materiais de construção	52
4.3.3.2 Combinação inadequada de materiais de construção	53
4.3.3.3 Na atmosfera	56
4.3.3.4 No solo ou no lençol freático	57
4.3.3.5 Sais de degelo e adubos	58
4.4 Os sais de sulfato	58
4.5 Considerações finais	59
 5 ALGUNS EDIFÍCIOS HISTÓRICOS ESTUDADOS	 61
5.1 Generalidades	61
5.2 Fortaleza de Santa Cruz da Ilha de Anhatomirim	62
5.2.1 Histórico	63
5.2.2 Trabalhos realizados	64
5.2.2.1 Rebocos de recuperação	64
5.2.2.2 Processo de dessalinização por eletrólise	66
5.2.2.3 Tintas Minerais	67
5.2.3 Resultados Obtidos	69
5.3 Palácio Cruz e Sousa	70
5.3.1 Histórico	70
5.3.2 Trabalhos realizados	71
5.3.2.1 Diagnóstico de umidade e salinidade de rebocos	72
5.3.2.2 Tintas para edificios históricos	73
5.3.3 Resultados Obtidos	74
5.4 Capela do Menino Deus	75
5.4.1 Histórico	76
5.4.2 Trabalhos realizados	76
5.4.3 Resultados obtidos	76

5.5 Prédio da Alfândega	77
5.5.1 Histórico	77
5.5.2 Trabalhos realizados	78
5.5.3 Resultados Obtidos	79
5.6 Considerações finais	79
 6 RESULTADOS OBTIDOS EM LABORATÓRIO	 81
6.1 Considerações iniciais.....	81
6.2 Verificação de danos provocados por sais higroscópicos em tijolos cerâmicos	81
6.3 Verificação do comportamento de argamassas com a mistura de aditivos	85
6.4 Verificação dos danos provocados por sais higroscópicos em argamassas	87
6.4.1 Argamassas com composição diferenciada submetidas a sobrecarga conjunta e sais higroscópicos	88
6.4.2 Argamassas com composição idênticas submetidas a sobrecarga separada de sais higroscópicos	93
6.4.2.1 Argamassa de cimento, cal e areia	93
6.4.2.2 Argamassa de cal e areia	96
6.5 Avaliação de danos provocados em paredes externas revestidas com argamassas diferentes submetidas a sobrecarga conjunta de sais ...	99
6.6 Considerações finais	102
 7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	 103
7.1 Conclusão.....	103
7.2 Recomendações para futuros trabalhos	104
 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 106
 9 BIBLIOGRAFIA	 109

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia	1	Aparência de uma parede com danos provocados pelo fenômeno da salinidade	44
Fotografia	2	Cristalização de sais no interior de uma parede de tijolos	47
Fotografia	3	Vista Geral da Fortaleza de Santa Cruz, em Anhatomirim	63
Fotografia	4	Vista de uma das paredes com teste de rebocos na Fortaleza de Santa Cruz, na ilha de Anhatomirim	65
Fotografia	5	Sistema de eletrodos testados na Fortaleza de Santa Cruz.....	67
Fotografia	6	Aspecto geral dos testes de pintura numa das paredes da Fortaleza de Santa Cruz.....	68
Fotografia	7	Coleta de amostras de tintas minerais aplicadas na Fortaleza	68
Fotografia	8	Visão geral do Palácio Cruz e Sousa	71
Fotografia	9	Local visivelmente deteriorado em que foi realizado um teste de reboco de recuperação	72
Fotografia	10	Aspecto geral dos testes de tintas numa das paredes do Palácio Cruz e Sousa (lado esquerdo, tinta à base de silicato e no direito, à base de cal)	74
Fotografia	11	Visão geral da Capela do Menino Deus	77
Fotografia	12	Vista do Prédio da Alfândega.....	78
Fotografia	13	Tijolos submetidos a umidificação por capilaridade com água potável (esquerda) e salgada (direita) e posterior secagem em estufa	82
Fotografia	14	Detalhe aproximado dos tijolos submetidos à umidificação por capilaridade com água salgada e posterior secagem em estufa	82
Fotografia	15	Aspecto do topo de um dos tijolos revestidos, submetidos à umidificação por capilaridade com água salgada e posterior secagem em estufa	83
Fotografia	16	Aspecto da lateral de um dos tijolos revestidos submetidos à umidificação por capilaridade com água salgada e posterior secagem em estufa	84

Fotografia 17	Aspecto dos tijolos submetidos a umidificação por capilaridade com água salgada e posterior secagem em estufa, decorridos 2 anos dos testes iniciais	84
Fotografia 18	Corpos de prova de composição diferentes submetidos à sobrecarga conjunta de sais, após 8 ciclos de umidificação e secagem	89
Fotografia 19	Continuação do processo de desagregação dos corpos de prova, após 2 anos dos testes iniciais	93
Fotografia 20	Visão geral de todos os corpos de prova à base de cimento, cal e areia, no terceiro ciclo de umidificação	94
Fotografia 21	Aparência dos corpos de prova à base de cimento, cal e areia, contaminado por sulfato de sódio, após o quarto ciclo de umidificação	94
Fotografia 22	Visão geral de todos os corpos de prova à base de cal e areia, no sétimo ciclo de umidificação	98
Fotografia 23	Desagregação dos corpos de prova à base de cal e areia, contaminados por pelo sulfato de sódio, após o sétimo ciclo de umidificação e secagem	99
Fotografia 24	Paredes testes revestidas com rebocos especiais submetidos à sobrecarga de sais	101

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características construtivas do edifício antigo e moderno, sob o ponto de vista tecnológico	10
Quadro 2 - Classificação das argamassas	27
Quadro 3 - Discriminação dos Corpos de Prova	89

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução do aumento de peso das amostras ao longo dos ciclos	90
Gráfico 2 - Evolução dos aumentos percentuais do peso seco dos corpos de prova à base de cimento, cal e areia, após uma sobrecarga de sais higroscópicos	95
Gráfico 3 - Difratoograma da amostra de argamassa composta por cimento, cal e areia e submetida a uma sobrecarga de sulfato de Sódio	96
Gráfico 4 - Evolução dos aumentos percentuais do peso seco dos corpos de prova à base de cal e areia, após uma sobrecarga de sais higroscópicos	97
Gráfico 5 - Difratoograma da amostra de argamassa composta por cal e areia e submetida a uma sobrecarga de sulfato de Sódio	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Pressão originada pelo aumento de volume de alguns sais ao hidratar-se	47
Tabela 2	Pressão de cristalização do Cloreto de Sódio e Sulfato de sódio	48
Tabela 3	Grau de sobrecarga dos principais sais higroscópicos	51
Tabela 4	Resumo do grau de sobrecarga obtido nos ensaios na Fortaleza de Santa Cruz	69
Tabela 5	Incremento no peso e quantidade de sal absorvida pelos corpos de prova.....	91
Tabela 6	Evolução dos aumentos percentuais de pesos, secos e úmidos, dos corpos de prova com cimento, cal e areia, após uma sobrecarga de sais higroscópicos	95
Tabelas 7	Evolução dos aumentos percentuais de pesos, secos e úmidos, dos corpos de prova à base de cal e areia, após uma sobrecarga de sais higroscópicos	97

Resumo

NAPPI, Sérgio Castello Branco. **Uma solução alternativa para prorrogação da vida útil de rebocos com salinidade em edifícios históricos**. Florianópolis, 2002. 114 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 2002.

A degradação e a restauração de argamassas de rebocos, especialmente em edifícios históricos é uma realidade. Dentre os problemas mais freqüentes apresentam-se aqueles decorrentes da umidade, que algumas vezes, podem conter um determinado teor de salinidade. Quando estes sais têm um alto grau de solubilidade e estão permanentemente numa situação de cristalização e hidratação, podem provocar a incorporação de água na sua estrutura molecular, aumentando o seu volume e causando uma desagregação dos materiais constituintes da argamassa. A solução mais adequada é a eliminação da umidade e/ou dos sais. Infelizmente isso nem sempre é possível devido às condições construtivas do edifício. Uma alternativa é a confecção de uma argamassa especial que permita o crescimento destes sais no seu interior, propiciando uma vida mais longa aos revestimentos.

Este trabalho contém uma abordagem geral sobre os edifícios históricos com considerações sobre as argamassas e os seus componentes que tenham uma ligação com o patrimônio histórico. Posteriormente são abordados os fenômenos referentes a umidade e salinidade, em razão da sua interdependência, sob o ponto de vista teórico, seguido de considerações práticas através dos resultados de alguns trabalhos realizados em edifícios históricos da região de Florianópolis. Finalmente, são apresentados alguns dos trabalhos executados no Laboratório de Tecnologia do Restauro e a definição de uma argamassa específica para rebocos com salinidade.

Palavras-chave: patrimônio histórico, restauração, umidade e salinidade, rebocos de recuperação.

Abstract

NAPPI, Sérgio Castello Branco. **Uma solução alternativa para prorrogação da vida útil de rebocos com salinidade em edifícios históricos**. Florianópolis, 2002. 114 p.
Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 2002.

Plaster degradation and restoration, mainly in Historic Buildings, is a current issue. Among the most frequent problems, emerge those from humidity which sometimes may have some salinity content. When these salts have a high degree of solubility and are under a steady crystallization and hydration condition, they may cause water incorporation in their molecular structure that leads mortar constituents to increase volume and material desegregation. The most suitable solution is humidity and/or salt elimination. Unfortunately, it may not be possible due to the way the building was constructed. An alternative is to make a especial compound that allows for the growing of those salts, which make possible a longer life of plasters.

Initially this work makes a general approach of Historic Buildings taking into account mortar and its components that has linkage with Heritage. Then, humidity and salinity phenomena were jointly approached due to their interdependence under theoretical point of view, followed by practical considerations through the results of some researches undertaken on historic sites in the city of Florianópolis (SC-Brazil). Finally, some works of the Laboratory of Restoration Technology (Laboratório de Tecnologia do Restauro) are presented as well as the definition of a specific mortar for plaster contaminated by salts.

Keywords: Heritage, restoration, humidity and salinity, rendering mortars.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

O problema da degradação e potencial restauração das argamassas de rebocos, especialmente em edifícios históricos, tem chamado pouca atenção de pesquisadores no campo dos materiais de construção. Esta falta de interesse é ainda mais relevante quando se considera o problema análogo que é o da deterioração e reforço de estruturas de concreto armado e protendido, para o qual um amplo número de artigos são apresentados em seminários e congressos, a nível nacional e internacional. Como exemplo pode ser citado que no IV Congresso Ibero-americano de Patologia das Construções, realizado na cidade de Porto Alegre, em outubro de 1997, dos 186 trabalhos apresentados nos anais, 106 foram sobre estruturas em geral, 64 sobre outras patologias nas edificações e apenas 16 em recuperação de edifícios históricos, sendo 5 referentes a argamassas de rebocos. A importância cultural, arquitetônica, social e econômica na recuperação de construções históricas está muito clara no Hemisfério Norte, onde se dá muito valor a própria herança construtiva. Infelizmente, no Brasil, ainda vivemos distantes dessa realidade.

Como consequência dessa falta de interesse na investigação do problema, muitas vezes a consolidação e restauração das construções históricas, em especial dos rebocos, terminam por aumentar a sua degradação, após um período inicial de aparente melhora. As razões para esta realidade têm um perfeito paralelo na ciência médica: freqüentemente, um diagnóstico falho e a consequente terapia faz a saúde do paciente piorar, porque as origens da doença não foram removidas pela terapia aplicada, ou porque o tratamento terapêutico interferiu de forma negativa com o estado preexistente do paciente.

No entanto, notam-se algumas mudanças nessa realidade, pois nos últimos anos a preservação e a conservação de edifícios históricos começam a ter certa importância no país. As autoridades brasileiras estão frente a uma tarefa complexa de colocar em prática os conceitos de preservação e, especialmente, desenvolver algumas premissas básicas, quanto aos seus aspectos científicos, administrativos e logísticos.

Introdução

Mas, no que se refere ao estudo dos materiais e tecnologias mais adequadas à realidade dos nossos edifícios históricos, as pesquisas são insignificantes. Tal fato é agravado, muitas vezes, pela inexistência de alguns materiais oferecidos pelo comércio e o desconhecimento de processos construtivos utilizados antigamente, embora a eficácia desses elementos possa ser ainda comprovada. Por sua vez também, o uso de produtos e técnicas inadequadas de conservação e restauro resultam, quase sempre, em danos ainda maiores aos edifícios históricos.

Dentre os problemas mais freqüentes que surgem nestes edifícios, aqueles ligados aos elementos de alvenaria e, em especial, ao seu revestimento, são os mais visíveis. Este revestimento, que compreende o reboco e respectiva pintura, são muito afetados pelos fenômenos decorrentes da umidade, que algumas vezes, pode conter um determinado teor de salinidade.

Quando estes sais, em razão de sua constituição, têm um alto grau de solubilidade e estão permanentemente numa situação de cristalização e hidratação, podem provocar a incorporação de água na sua rede cristalina. Por conseqüência, acontece um aumento do seu volume no interior das paredes, sendo assim o principal responsável pela acelerada deterioração dos materiais existentes. Também, esta ação de absorção e/ou adsorção de água, muitas vezes proporciona condições de insalubridade ao ambiente, devido a elevação do seu nível de umidade interna.

A solução mais adequada para esses problemas é a eliminação da umidade e/ou dos sais, ditos higroscópicos. Infelizmente essa solução nem sempre é possível devido às condições construtivas de edifício, principalmente no que se refere à espessura e constituição das alvenarias e das fundações. Como alternativa, deve-se conviver com os fenômenos de umidade e salinidade, oferecendo, no entanto, alternativas que propiciem uma vida mais longa aos revestimentos.

Para tanto, a composição de uma argamassa, com características especiais que permitem o crescimento destes sais no seu interior por um período maior de tempo pode ser a solução mais adequada ao problema em questão.

Salienta-se ainda que uma solução apropriada para a recuperação de rebocos em edifícios é de amplo interesse, não só para o tratamento de imóveis antigos, como para toda construção contemporânea, quando submetida aos mesmos tipos e níveis de contaminação.

Introdução

Desta forma, a sistematização e difusão desta realidade, aliada às pesquisas em laboratórios e ao intercâmbio com outras instituições diretamente ligadas à preservação do nosso Patrimônio Histórico, mostra-se como um caminho a ser percorrido para vencer tais desafios existentes neste setor específico.

1.2 Objetivo Geral

A partir de um melhor conhecimento dos fenômenos que provocam as anomalias ocasionadas pela presença de salinidade em revestimentos, especialmente em edifícios históricos, pretende-se, como alternativa de tratamento, confeccionar uma argamassa para ser aplicada em rebocos, cujas características permitam prorrogar a vida útil desses elementos construtivos, através da redução significativa dos seus danos.

1.3 Objetivos Específicos

Para que se possa atingir o objetivo geral proposto, alguns objetivos específicos devem ser atendidos:

- ampliar o conhecimento sobre os elementos ligados ao processo de preservação/conservação como forma de entender a evolução do processo de conservação/restauração;
- aprofundar o conhecimento dos fenômenos que interagem nas reações químicas entre os diversos materiais que compõem as argamassas;
- analisar mais profundamente os fenômenos de umidade e salinidade;
- realizar experimentos em argamassas, utilizando vários produtos químicos potenciais para serem utilizados num reboco específico para resistir a contaminação por sais;
- conhecer mais de perto a realidade dos edifícios históricos existentes na região de Florianópolis;
- compor uma argamassa para reboco com características especiais, que permaneça íntegra por um período de tempo maior que as argamassas convencionais, quando submetidas à uma sobrecarga de sais;

Introdução

- realizar ensaios comparativos de resistência à salinidade entre a argamassa proposta e as argamassas de rebocos convencionais e
- verificar, de forma qualitativa, entre os sais higroscópicos, qual deles têm uma ação mais danosa às argamassas.

1.4 Metodologia

A metodologia adotada neste estudo englobou pesquisa bibliográfica, trabalhos de campo, pesquisas em laboratório e divulgação dos resultados parciais, todos de forma concomitante. Este tipo de abordagem do tema demonstra uma riqueza especial, na medida em que favorece a solução de questões reais, permite o teste de materiais, melhora o intercâmbio de informações com outros profissionais da área, dentre outras vantagens.

A pesquisa bibliográfica desenvolveu-se durante todo o trabalho, buscando-se nos livros, revistas, artigos, Internet e conversas com os conhecedores do problema o conhecimento e resposta às dúvidas que surgiam no decorrer dos estudos. Deve ser destacado que durante a efetivação das disciplinas do curso de pós-graduação, este tema já estava sendo pesquisado, favorecendo o seu aprofundamento, principalmente pela contribuição oferecida pelos professores e colegas, nos debates acontecidos.

Devido a inexistência, na região de Florianópolis, de um profissional especializado no assunto, na medida em que os problemas de salinidade eram detectados em alguns edifícios históricos, começaram a surgir solicitações de consultorias, principalmente no que se refere aos diagnósticos de danos. Desta forma passou-se a conhecer, de forma real quanto o problema afeta, não só os edifícios antigos, mas também as edificações contemporâneas.

Como as respostas nem sempre eram encontradas, buscou-se em experiências laboratoriais, uma forma de solucionar as questões que iam surgindo. Destaca-se que estes experimentos tinham como objetivo principal observar a evolução do processo de desagregação dos componentes dos respectivos materiais estudados e não o estabelecimento de parâmetros do desempenho de cada material. Cada um dos métodos utilizados estão descritos antes de cada experimentação. Para tanto, foi criado, no Departamento de Arquitetura e Urbanismo, o Laboratório de Tecnologia do Restauro - Labrestauro. Também foram realizadas atividades de pesquisa e extensão que enriqueceram, em muito, o tema. Acrescente-se

Introdução

ainda, que o laboratório criado oferece suporte à disciplina Patrimônio Histórico e Técnicas Retrospectivas, que passou a ser obrigatória no currículo mínimo dos Cursos de Arquitetura, a partir do ano 2000.

Finalmente, a divulgação dos problemas e de possíveis soluções passou a ser incrementada, tanto a nível local, como nacional e internacional. A nível local, através de apresentação em disciplinas e contatos com entidades e/ou órgãos de responsáveis pela preservação do patrimônio histórico, nos níveis municipal, estadual e nacional, aqui sediados. Também houve a organização e coordenação de cinco seminários exclusivamente sobre o tema, tendo, todos eles, a participação de pelo menos um técnico da Alemanha. Em termos nacionais e internacionais, realizaram-se apresentações de artigos em congressos, seminários, workshops, etc., num total de 11 artigos.

Quanto à metodologia utilizada nos experimentos em laboratório referente às argamassas, deve ser salientado que as avaliações foram, quase sempre, comparativas. Não havia uma preocupação em se determinar as características e propriedades do material, em termos quantitativos, e sim, em verificar o seu comportamento diante das condições de agressividade do ambiente a que estavam submetidos.

1.5 Limitações

Embora o principal objetivo deste trabalho seja a confecção de uma argamassa para rebocos em paredes com sobrecarga de sais, não se tem a pretensão de que este produto comece, imediatamente, a ser aplicado ou produzido por indústrias. Apresenta-se uma visão mais ampla das questões referentes ao edifício histórico, que culmina com a citada argamassa. Para a sua aplicação, testes adicionais necessitariam ser realizados. O chamado “desenvolvimento do produto” deve ser implementado, objetivando o proporcionamento ideal dos seus componentes ou até de outros, para atender requisitos adicionais a fim de otimizar o desempenho dessa nova argamassa, ou até para poder compatibilizá-la com as tintas que deverão ser utilizadas sobre esta própria argamassa. No entanto, mesmo nas condições atuais, tem-se a certeza de que a sua vida útil será sempre maior que a das argamassas de reboco convencionais, quando sob a ação de sais higroscópicos. Este tempo adicional de vida útil dependerá das condições de agressividade existentes no próprio local.

Introdução

Também deve ser salientado, que a grande maioria dos elementos constantes neste trabalho estão sob a ótica dos edifícios antigos, embora várias das observações possam ser válidas para as edificações contemporâneas, com problemas análogos.

Finalmente, ressalta-se que apesar da presença de sais nos materiais de construção provocar uma aceleração no processo de deterioração do aço e esse fato ser mais difundido entre os profissionais do setor da construção civil, neste trabalho não será abordado qualquer aspecto referente ao problema.

1.6 Estrutura do trabalho

O presente trabalho compõe-se de um primeiro capítulo com a Introdução, na qual se encontra uma justificativa, os objetivos, a metodologia da sua elaboração e as suas limitações. Posteriormente, o tema principal é abordado em cinco capítulos, que embora estejam numa sequência lógica de apresentação, possuem um conteúdo completo, oferecendo uma visão global sobre o respectivo assunto. Ao final, elabora-se uma conclusão, complementada por algumas recomendações para trabalhos posteriores.

Referindo-se mais precisamente aos capítulos, o segundo apresenta uma abordagem geral sobre os Edifícios Históricos, especialmente sobre os princípios da restauração, as várias correntes de pensamento, alguns documentos importantes sobre o tema e as etapas de um processo de restauração.

No terceiro, são estudadas as argamassas em particular, com todos os seus componentes que tenham uma ligação direta com o tema deste trabalho, enfocando desde aspectos históricos até as suas características principais.

A seguir, no quarto capítulo, são abordados os fenômenos referentes a umidade e salinidade, em razão da interdependência da ação desses dois fenômenos, sob um enfoque mais teórico. O quinto capítulo tem uma abordagem bem mais prática, relatando, de forma muito resumida, o resultado de alguns trabalhos realizados em edifícios históricos da região de Florianópolis.

Finalmente, no sexto capítulo são apresentados os trabalhos realizados, principalmente, no Laboratório de Tecnologia do Restauo, referentes a ação dos sais sobre os tijolos e as argamassas.

2 EDIFÍCIOS HISTÓRICOS

2.1 Introdução

Um edifício histórico é aquele que proporciona aos seres humanos uma sensação de admiração, fazendo que se procure saber mais sobre as pessoas e a cultura que o produziu. Ele pode ter valores arquitetônicos, estéticos, históricos, documentais, arqueológicos, econômicos, sociais, políticos e espirituais e/ou simbólicos. Mas o primeiro impacto é sempre emocional, pois é um símbolo de uma identidade cultural e continuidade, como parte de herança de um povo (Feilden, 1994).

Desde o início de sua construção até os dias atuais, uma edificação histórica tem “mensagens” artísticas e humanas, as quais são reveladas pelo estudo de sua história. Uma complexidade de idéias e cultura podem ser registradas em torno de uma edificação histórica e até outros fatos podem estar refletidos nela. Pode estar incluída desde a pessoa que elaborou o projeto, quem a construiu, quais os seus objetivos e até os princípios estéticos e conceitos de composição e proporção relativos à construção. Pode também, ser complementada com aspectos políticos, sociais e econômicos do período no qual a construção foi executada e dar uma sequência cronológica de eventos na vida da edificação, incluindo os nomes e características dos seus proprietários, se conhecidos.

Ainda pode ser estudado o estado atual do edifício, material e estrutural, as diferentes fases da construção, as suas intervenções posteriores, algumas peculiaridades internas e externas e o contexto do ambiente que o circunda, inclusive com prospecções arqueológicas ou escavações.

Dentro desse contexto, a preservação da edificação histórica ganha uma importância fundamental e são importantes todos os esforços realizados no sentido da ampliação da sua existência, frente aos diversos agentes que favoreçam a sua degradação.

A contaminação por alguns tipos de sais tem provocado danos significativos nos rebocos das paredes em alguns destes edifícios, razão pela qual a minimização destes danos, através de uma argamassa especial, pode ser uma forma de postergar a sua existência para gerações futuras, além de minimizar os custos da sua manutenção.

Edifícios Históricos

2.2 Os edifícios antigos

A idade e os fatores climáticos e ambientais, unidos, muitas vezes, a uma utilização sem os devidos procedimentos de manutenção provocam a deterioração dos elementos construtivos dos edifícios, principalmente aqueles construídos num passado remoto. Necessitam pois, de um processo de proteção eficaz, que deve ter sempre em vista a relação existente entre sua exigência construtiva, decorativa e ocupacional.

Especialmente no edifício de construção antiga, é importante observar a variabilidade das intervenções no tempo, relativa aos agentes atmosféricos e as mudanças da estrutura urbana, decorrentes da própria *evolução* da sociedade. Dentre estas, podem ser citadas: o agente atmosférico da poluição, o asfaltamento de ruas, as novas exigências de conforto (ar condicionado, por exemplo) e a variação do material decorativo. Tais alterações podem ter como efeito a degradação da alvenaria de suporte e, como consequências: a perda de coesão do próprio reboco, mais umidade nas paredes, maior tendência em liberação de água, redução da permeabilidade ao vapor d'água dos revestimentos, etc.

A compreensão de tais fenômenos é imprescindível para subsidiar qualquer estudo patológico e também terapêutico nesta área, sob pena de não se produzir uma solução definitiva que realmente resolva os problemas existentes nas construções maltratadas, não somente pelas variações climáticas, mas também pela intervenção inadequada do próprio ser humano.

A umidade ascendente (estudada mais profundamente no item 4) é muito comum nas edificações históricas, pois estas possuem paredes com grande espessura, as quais servem para vedação e sustentação simultaneamente e, por não possuírem qualquer tipo de impermeabilização, permitem, através do fenômeno da capilaridade, a ascensão de grande quantidade de água proveniente do subsolo. A composição normal destas paredes é uma mistura de materiais argilosos (queimados ou simplesmente secos), pedras e argamassas à base de saibro e cal de conchas, o que agrava ainda mais o problema.

Pode-se afirmar, portanto, que o suporte do edifício antigo se diferencia significativamente daquele do edifício novo e a potencial necessidade de uma consolidação do mesmo não pode criar barreiras intransponíveis ao elevado teor de umidade existente no seu interior.

Edifícios Históricos

Nos edifícios executados mais recentemente, o processo construtivo, principalmente na execução de suas fundações e alvenarias, tem reduzido a possibilidade de penetração de umidade no interior desses elementos, através da utilização de impermeabilizantes, diminuindo ou até mesmo eliminando os danos decorrentes da salinidade.

Assim, resguardada a característica construtiva, pode-se dizer, sob o ponto de vista tecnológico, que o período que delimita a construção antiga ou histórica da construção moderna ou contemporânea é a linha da utilização do concreto armado ou, até mesmo, do próprio Cimento Portland, que pode ser definida como a transição entre os séculos XIX e XX. Mas, em particular a diferenciação entre estes dois tipos de construções, de acordo com Tedeschi (1984), estão sintetizadas no Quadro 1.

Assim, além do fator cultural, existem exigências técnicas que devem ser respeitadas em relação aos sistema de revestimento (reboco e pintura) de um edifício de construção antiga, quais sejam:

- a) consolidação do suporte;
- b) proteção ao agente atmosférico e à poluição;
- c) invariabilidade da permeabilidade ao vapor d'água do suporte;
- d) conservar no tempo certas características próprias.

Todavia, para o processo de conservação dos Edifícios Históricos alguns critérios precisam ser respeitados, sem os quais poderá se tornar duvidoso o êxito da intervenção.

2.3 Preservação e conservação dos edifícios

O termo preservação tem uma abrangência genérica e segundo Castro (1995), dentro de uma visão institucional, pode ser entendido como *“toda e qualquer ação do Estado que vise conservar a memória de fatos ou valores culturais de uma Nação”*. Para concretizar esta ação, sob o ponto de vista jurídico existe a figura do tombamento. O prof. José Carlos de Mello Filho, citado por aquele autor, afirma que *“É o meio posto à disposição do Poder Público para a efetiva tutela do patrimônio cultural e natural do País”*. Confirma-se pois, que embora os fatos e valores culturais sejam quase que infinitos o seu registro, de forma real é limitado porque necessita de um instrumento jurídico para oficializá-lo.

Edifícios Históricos

Quadro 1 - Características construtivas do edifício antigo e moderno, sob o ponto de vista tecnológico

Tipo de construção	Antiga	Moderna
a. estrutura portante	tijolo maciço ou pedra	concreto
b. vedação lateral	tijolo maciço ou pedra	tijolos furados
c. espessura da parede	70 cm (valor médio) em geral decrecente da base para o alto	30 ± 10 cm
d. impermeabilização da fundação	inexistente	boa
e. proteção do reboco da água da chuva	Fraca, com pintura a cal	Boa, com os novos materiais a base de resina
f. peso por m ² de parede	700 ± 400 kg	90 ± 30 kg
g. conteúdo máximo de água por m ² de parede	140 ± 80 kg	18 ± 6 kg
h. troca higrométrica interna da parede	difícil	boa

Fonte: Adaptado de Tedeschi (1984)

Por outro lado, Feilden (1994) afirma que “*conservação é a ação feita para prevenir a deterioração. Ela envolve todos os procedimentos que prolongam a vida destes importantes marcos de nossa herança cultural e natural*”. A essência do elemento, deve estar presente no edifício para justificar a admiração com que eles são observados, através de suas mensagens artísticas e humanas. Para isso, é sempre desejável que a intervenção seja a mínima possível e que tenha reversibilidade, não prejudicando intervenções futuras. As regras que norteiam este processo de intervenção devem estar estabelecidas em legislação específica, através de manuais e inventários deste tipo de construções, inspeções regulares e por intermédio de ações de planejamento e conservação da respectiva cidade.

Edifícios Históricos

O escopo da conservação do ambiente construído, referentes aos edifícios históricos pode abranger desde o planejamento de cidade no sentido de sua preservação, até a consolidação de um elemento construtivo em estado de deterioração. Os requisitos para um bom estudo, envolvem muitos profissionais: planejadores urbanos, arquitetos, paisagistas, avaliadores, restauradores, advogados, engenheiros de diversas especialidades, construtores, artistas, arqueólogos, historiadores de arte e antigüidades, tendo o apoio de biólogos, químicos, físicos, geólogos e sismologistas, em determinados casos. Para completar esta lista poderá ser acrescentado um arquiteto especializado em conservação, que poderá gerenciar toda a obra. O envolvimento destes especialistas necessita do conhecimento dos princípios que devem ser respeitados neste tipo de trabalho, visando uma harmonia em todas as suas ações, objetivando o sucesso da intervenção.

2.3.1 Princípios gerais na conservação

Na execução de um trabalho nesta área, Feilden (1994) enumera algumas regras que devem ser observadas:

- 1 - a condição do edifício deve ser registrada antes de qualquer intervenção;
- 2 - as evidências históricas não devem ser destruídas, falsificadas ou removidas;
- 3 - a intervenção deve ser a mínima possível;
- 4 - a intervenção deve ser dirigida com um respeito inabalável pela integridade estética, histórica e física do edifício;
- 5 - todos os métodos e materiais usados durante a recuperação devem ser amplamente documentados e registrados.

Complementa ainda, o referido autor sobre as intervenções:

- a) devem ser reversíveis e adaptáveis, se for tecnicamente possível, ou no mínimo, não prejudicar uma futura intervenção, caso ela venha a ser necessária;
- b) não devem impedir a possibilidade de acesso, mais tarde, para todas as evidências incorporadas no objeto;
- c) devem permitir, ao máximo, que o material existente seja conservado;
- d) os trabalhos adicionais devem ser harmoniosos nas cores, tons, texturas, forma e

Edifícios Históricos

escala. Se forem necessárias adições, ser menos perceptível que o material original, embora devam ser identificáveis em qualquer período posterior;

e) não podem ser realizadas por restauradores/conservadores inexperientes, a menos que sejam recomendados por terem uma grande competência.

Sobre este mesmo assunto, Gaetano Miarello-Mariani, citado em Buergo e Limón (1994), estabelece alguns pontos básicos semelhantes:

- 1 - intervenção mínima;
- 2 - respeito a autenticidade;
- 3 - evidente diferenciação entre o restaurado e o original;
- 4 - apesar de regras gerais, deve reconhecer a individualidade de cada restauração;
- 5 - limitar as intervenções aos casos de verdadeira necessidade.

Contudo, deve estar claro que alguns problemas são únicos e devem ser resolvidos pelos princípios da tentativa-e-erro.

Deve ser lembrado, no entanto, que esses trabalhos envolvem materiais sujeitos às intempéries que são virtualmente incontroláveis devido às variações climáticas e que no edifício, muitas vezes, existe uma estrutura funcional, com pessoas trabalhando, onde deve ser provido de um ambiente interno saudável, além da sua inserção numa paisagem, normalmente, urbana.

Os trabalhos nesta área podem ser em diferentes níveis de aprofundamento, em função, não só da importância histórica do edifício, mas também da visão administrativa dos seus responsáveis, que, dependendo das providências tomadas, poderão aumentar a vida útil do imóvel e até facilitar o processo de restauração. A seguir são apresentados estes níveis.

2.4 Graus de intervenção

Dependendo dos cuidados com que o edifício é tratado e das variações climáticas ao qual está sujeito, a necessidade de intervenção pode ser avaliada.

Todas as intervenções sempre envolvem alguns prejuízos no “valor” de uma edificação, mas são plenamente justificadas em razão da sua preservação para o futuro.

A conservação envolve intervenções feitas em vários níveis, os quais são determi-

Edifícios Históricos

nados pelas condições físicas e ambientais, causas de deterioração e antecipação do comportamento futuro do edifício sob tratamento. Cada elemento deve ser considerado como um todo e individualmente, trazendo-os, posteriormente, para uma avaliação global.

O comportamento ideal, sempre na intenção do objetivo final e dos princípios e regras da conservação, é aquele em que a mínima intervenção efetiva é sempre a melhor. Para uma melhor compreensão, estes procedimentos são divididos em seis graus, simultâneos ou individualizados e, segundo Feilden (1994), são: prevenção da deterioração, preservação do estado existente, consolidação do edifício, restauração, reabilitação e reconstrução.

2.4.1 Prevenção da deterioração

Este nível de prevenção vincula a proteção do edifício, através da previsão do seu comportamento diante do conhecimento e do controle das variáveis no qual ele está inserido, prevenindo, portanto, a ação dos agentes de deterioração e danos de forma adequada.

Assim, nestas atividades inclui-se para o edifício em si: o controle da umidade interna; temperatura; luminosidade; medidas de prevenção contra incêndios; furto e vandalismo e também um sistema de limpeza dentro de um bom plano global de manutenção. No ambiente externo ao edifício, incluem-se medidas para se tentar reduzir a poluição atmosférica e as vibrações provenientes do tráfego de veículos.

Em resumo, as inspeções regulares do edifício são as bases da prevenção da deterioração, que dependem de uma administração eficaz.

2.4.2 Preservação do estado existente

Este nível de trabalho trata com a edificação propriamente dita, mantendo-se o seu estado atual através de pequenos reparos, como forma de prevenir prováveis deteriorações futuras. Caracteriza-se pela recuperação de pequenos danos causados pela umidade, por agentes químicos e por todos os tipos de microorganismos, cuja ação pode ser interrompida, em razão de ações preventivas periódicas.

2.4.3 Consolidação do edifício

A consolidação é uma adição física ou aplicação de um adesivo ou material de suporte no interior de uma edificação, afim de assegurar a continuidade do seu uso ou integridade estrutural. Esta consolidação pode, por exemplo, ser a injeção de adesivos para segurar uma pintura mural destacada da parede ou também a própria consolidação do reboco.

Nestas situações, quando a resistência dos elementos estruturais for duvidosa, aumentará os riscos eminentes de colapso. Assim, a consolidação do material existente deve ser executada, respeitando-se a integridade do sistema estrutural e a sua forma. Nenhuma evidência histórica deve ser destruída. Somente em casos especiais que envolvam riscos de acidentes aceita-se a introdução de novas técnicas e/ou materiais.

A utilização de uma mão-de-obra especializada e materiais tradicionais é de importância fundamental. Contudo, onde este processo se mostra inadequado para a conservação pode ser utilizada uma técnica mais moderna, a qual deve ser reversível, provada experimentalmente e aplicada para a escala do projeto e do seu comportamento climático. O profissional deve ter uma profunda sensibilidade para indicar a utilização destes novos materiais e/ou processos na conservação. A preservação do edifício é mais importante do que a preservação do material original.

Finalmente, cabe salientar que em muitos casos este procedimento é interessante para se ganhar tempo, mesmo com soluções temporárias, na esperança que alguma técnica melhor possa ser desenvolvida, especialmente se esta consolidação vier a prejudicar futuros trabalhos de conservação.

2.4.4 Restauração

O objeto de restauração deve reviver o seu conceito e a sua legibilidade. A restauração e a reintegração de detalhes ocorrem freqüentemente e estão baseados no respeito ao material original, nas evidências arqueológicas e nos projetos originais e documentos autênticos. As substituições de partes ausentes ou deterioradas podem ser executadas mas devem integrar-se harmoniosamente com o todo e ser distinguíveis do original numa inspeção mais aprofundada, de forma que a restauração não falsifique

Edifícios Históricos

uma evidência arqueológica ou histórica.

As contribuições de muitos períodos podem ser respeitadas, pois alguma modificação posterior não deixa de ser um registro de uma época e, portanto, deve ser preservada. Quando uma construção inclui trabalhos superpostos de diferentes períodos, a revelação do estado anterior pode ser justificável em circunstâncias excepcionais. Isto acontece quando a parte a ser removida está muito agredida e tem pouco valor ou quando se tem a certeza que o material que ficará em exposição está em boas condições e é de grande valor histórico ou arqueológico.

2.4.5 Reabilitação

O melhor caminho para a preservação de edificações é mantê-la em uso, desde que isso seja compatível com a natureza do edifício, mesmo que precisem realizar pequenas adaptações. Contudo, deve-se, sempre que possível, manter o uso original, pois é geralmente o melhor para a conservação do edifício e proporciona um menor número de alterações.

2.4.6 Reconstrução.

A reconstrução de edifícios e centros históricos usando novos materiais pode ser necessária após desastres como incêndios, ventos muito fortes, terremotos ou guerras. Assim como uma restauração, a reconstrução deve estar baseada em documentação e evidências concretas e nunca sobre conjecturas.

A movimentação de edifícios inteiros para novos sítios é outra forma de reconstrução, justificada somente por grandes interesses nacionais. Entretanto, deve-se ressaltar que acarreta sérios prejuízos ao valor cultural, além da potencial geração de riscos em função do novo ambiente em que os mesmos estarão inserido.

2.5 Evolução do conceito de restauração

O conceito de restauração não é muito claro e suas definições variam com o passar do tempo, modificando-se diante da realidade de cada período.

Edifícios Históricos

Embora não pareça uma tarefa fácil definir as teorias existentes sobre restauração, apresenta-se a seguir, a partir do que foi escrito por Buergo e Limón (1994), uma ordem cronológica dos grandes autores que se dedicaram a este assunto, criando, conseqüentemente, um tipo particular de trabalho. Assim, pode-se afirmar que a restauração passou por várias etapas como descrito a seguir.

As origens da restauração se encontram na França, manifestando-se pela primeira vez na da Revolução Francesa, no século XVIII, quando nasce o conceito de restauração, tal como entendemos hoje, com a teoria das obras do francês Eugene Viollet-le-Duc (1814-1879). Denominada como *Restauração Estilística*, seu conceito de restauração integradora unia idéias dispersas dando unidade e corpo. Seu estilo deriva do profundo conhecimento que tinha da estrutura gótica e do comportamento mecânico de seus materiais. Sua obra se baseia em buscar a forma pura e perfeita do edifício a estudar, entendendo que é possível refazer uma obra incompleta em coerência com a sua obra total. Disse ele: *É preciso situar-se no lugar do arquiteto primitivo e supor o que faria ele se voltasse ao mundo e estivesse diante de si o mesmo problema*. A importância extrema da teoria de Viollet também reside em compreender que uma coisa é projetar em obra nova e outra é restaurar monumentos antigos.

Frente a esta teoria se encontra um outro tipo de pensamento, representado pelo inglês John Ruskin (1819-1900), nomeada como *Restauração Romântica*. Moralista, romântico, defensor da autenticidade histórica, Ruskin pertence a corrente da não intervenção. Afirma que a restauração não tem razão de ser, devendo limitar-se ao cuidado com o edifício na sua estrita conservação. Admite que é preferível a ruína definitiva de um monumento, se não existirem opções distintas, que a sua reconstrução. Em outras palavras, é necessário considerar a inevitabilidade da morte do edifício através do seu nascimento e tempo de vida. Assim mesmo, Ruskin valoriza em grande parte o trabalho artístico e artesanal, por constituir-se uma manifestação de ordem natural.

Posteriormente, surgiu a dita, *Restauração Histórica*, através do arquiteto italiano Camillo Boito (1836-1914). Tem um sentido de conciliação entre as duas correntes anteriores. Ele defende a autenticidade histórica e propõe a mínima intervenção restauradora, admitindo novas adições em casos extremos, devendo, no entanto, estarem perfeitamente diferenciadas da obra original. Para Boito, a idéia arquitetônica que se encontra no

Edifícios Históricos

edifício primitivo é mais importante que a realidade histórica, desprestigiando em certa maneira o historicismo eclético e a pureza francesa.

Complementando e atualizando Boito, o arquiteto italiano Gustavo Giovannoni (1873-1947), enfatiza que além do edifício, o seu entorno urbano tem uma importância significativa, devendo ser conservado a todo custo e assim submeter a cidade histórica a um processo de congelamento, opondo-se assim, a grandes reformas nos centros antigos. Estava criada a *Restauração Científica*.

Finalmente, a *Restauração Crítica*, que estuda o valor do edifício de forma individualizada desde o seu aspecto histórico, artístico e arquitetônico tomando medidas práticas destinadas a transmissão do mesmo a culturas posteriores.

Nestas definições aparecem dois aspectos diferentes: por um lado uma atividade de respeito a obra, considerada em sua conformação atual, e por outro, existe uma atitude de intervenção direta no monumento, com o objetivo de conservá-lo para apreciação, principalmente de sua forma, para as gerações futuras.

Para concretizar tais idéias foram marcantes alguns documentos, a nível mundial, até hoje citados pelos estudiosos deste assunto.

No transcorrer do tempo, muito se discutiu e se recomendou para a conservação de edificações históricas. Os trabalhos nesta área não são rotineiros, implicando num aumento significativo dos custos. Muitos dos valores incorporados ao edifício são imensuráveis, configurando-se mais importantes, muitas vezes, que o próprio custo do empreendimento. Para estes tipos de edificações, o custo do processo de recuperação não pode ser comparado com o de outras obras do setor de construção civil, pois a mão-de-obra qualificada é rara, o tempo de execução das tarefas é grande e certos materiais, indispensáveis para a sua recuperação, são de difícil obtenção. Muito mais do que o processo em si, está em jogo um compromisso com a história e a cultura de uma sociedade.

2.6 Etapas de uma restauração

Os trabalhos nesta área, normalmente, são mais complexos que as tradicionais reformas ou construções. Como consequência, surgem muitas dificuldades que devem ser superadas, abrangendo desde a inexistência de informações sobre o imóvel e, principalmente,

Edifícios Históricos

sobre os materiais que o integram, passando, muitas vezes, pela incompatibilidade de alguns materiais existentes no mercado e chegando na desqualificação da mão-de-obra disponível nos dias de hoje. Tais elementos tornam as tarefas difíceis e demoradas implicando pois, num aumento significativo dos custos do trabalho.

De modo muito resumido, pode-se dizer que as atividades iniciam-se pela confecção ou busca de inventários, onde devem ser catalogadas todas as informações disponíveis sobre o imóvel e também juntar-se uma coletânea da legislação que diretamente se aplica ao objeto do trabalho. Em alguns casos, o conhecimento das tradições orais deverão ser registradas textualmente e incluídas no dossiê criado para cada edifício.

A seguir, deve ser feita uma avaliação visual preliminar e o estudo de cada ambiente da edificação para conhecê-lo e defini-lo como num todo. Isto pode ser auxiliado com os dados existentes nos levantamentos históricos, arqueológicos, arquitetônicos, etc. Neste momento, já é possível colher-se as primeiras impressões sobre a existência de problemas com salinidade, objeto principal do presente trabalho.

Na fase seguinte, ou mesmo simultaneamente a fase anterior, elabora-se o anteprojeto de recuperação onde poderão ser realizadas algumas prospecções e coletas de material, num nível mais empírico, com objetivo de subsidiar a solicitação de recursos para a elaboração do projeto definitivo e execução dos serviços propriamente ditos, confirmando-se então, a existência de sais.

Recebidos os recursos, conclui-se o projeto definitivo e inicia-se a primeira etapa de obras, lembrando que poderá haver necessidade de análises mais aprofundadas de determinados elementos, as quais devem ser feitas neste período, visto que muitas informações somente são obtidas com os trabalhos em andamento. Nesta etapa, deve ser completado, não só o diagnóstico sobre a salinidade, como também as possíveis terapias para solucionar o problema ou, pelo menos, para minorar os danos existentes.

Complementam-se, então as recomendações e orientam-se os trabalhos para a conclusão da restauração.

Finalmente, depois de concluídas todas as obras, deve-se elaborar um relatório com os registros completos do que foi realizado antes, durante e após a intervenção, abrangendo todos os estágios de trabalho (limpeza, consolidação, remontagem e integração, etc.) e incluindo também os materiais e técnicas usadas. Estes relatórios, sempre que possí-

Edifícios Históricos

vel ilustrados com fotografias e desenhos, podem servir de base para a elaboração de artigos analíticos e críticos, como forma de ajudar outros trabalhos semelhantes e também divulgar os resultados obtidos. Tais procedimentos visam garantir a sobrevivência do edifício, pois os futuros conservadores devem conhecer o que aconteceu no passado. Consequentemente, esta documentação é essencial para auxiliar trabalhos posteriores no respectivo edifício.

2.7 Considerações finais

Pelo exposto, apesar de ter sido comentado de forma resumida, pôde-se verificar a amplitude dos fatores que interferem diretamente com o patrimônio edificado, especialmente naqueles elementos referentes a sua manutenção. Em muitos aspectos, pode haver uma semelhança com aqueles referentes aos edifícios contemporâneos, mas nestes, considerados históricos, os cuidados precisam ser redobrados pela importância que adquirem ao fazer parte da própria história de um povo. Assim, na sua recuperação não se podem simplesmente considerar as necessidades técnicas para a recuperação do edifício, nem tampouco prospectar as suas instalações ou elementos como se faz habitualmente numa edificação convencional, em busca da causa de determinados problemas. Naqueles edifícios, a dificuldade de se obter diagnósticos confiáveis é maior pois muitas vezes não se podem utilizar técnicas convencionais, principalmente quando são necessários ensaios destrutivos.

Os próprios materiais que poderão ser utilizados nos respectivos trabalhos devem ser criteriosamente selecionados e testados antes de qualquer intervenção. Por isso, os custos sempre serão maiores, ampliados pela imprecisão e indefinição dos trabalhos que efetivamente serão executados.

Contudo, embora muitas vezes sejam tratados com descaso pelas autoridades constituídas, e algumas vezes pela própria sociedade, sempre haverá uma esperança da modificação dessa postura com estes marcos concretos de nossa herança cultural.

Por outro lado, enfocando diretamente nos aspectos tecnológicos ligados aos objetivos do presente trabalho, pode-se dizer que a produção de uma edificação, onde não há necessidade de comercialização está dividida em planejamento e projeto; construção e

Edifícios Históricos

uso e manutenção. A fase de construção, incluindo também as reformas (restauração quando os edifícios são históricos), contempla também outras três divisões: estrutura, vedações e acabamentos.

Os elementos apresentados a seguir, estão relacionados com os acabamentos e, mais diretamente, com a fase de revestimentos. Por sua vez, como os revestimentos englobam uma variedade de materiais, complementa-se ainda, que se trata das argamassas de reboco e seus materiais componentes, uma vez que são os elementos principais do presente trabalho, quando submetidas à uma sobrecarga de salinidade.

3 AGREGADOS, AGLOMERANTES E ARGAMASSAS

3.1 Generalidades

Toda a obra a ser executada na construção civil deve utilizar um conjunto de materiais, cujas características variam conforme o fim a que se destinam. Neste estudo em particular, referente a parte dos revestimentos de uma edificação, ou mais precisamente às argamassas de reboco, contaminados por sais higroscópicos (muito comuns em edifícios históricos), o uso racional e adequado, sob ponto de vista técnico e econômico, somente será alcançado com a utilização de materiais compatíveis, não só entre si, mas também com aqueles existentes no próprio edifício, objeto de uma reforma e/ou restauração. Alguns destes materiais são apresentados a seguir, dentro de uma classificação em que se estuda os agregados, os aglomerantes e as argamassas.

3.2 Agregados

Os agregados podem ser definidos como o conjunto de grãos naturais, processados ou manufaturados, que se apresentam numa seqüência de diferentes tamanhos, os quais, interligados por um material aglomerante, compõem as argamassas e os concretos (Silva, 1985).

Neste trabalho, diretamente ligado às argamassas, interessa apenas cuja granulometria tenha um diâmetro inferior a 4,8 mm, denominados tecnicamente de agregados miúdos. Salienta-se ainda, que além das areias, o silte e a argila estão dentro desta classe de materiais, mas não serão aqui abordados, pois têm pequena participação na composição das argamassas, muitas vezes sendo considerados como impurezas. Os agregados graúdos, fora do escopo do presente trabalho, têm o diâmetro dos seus grãos maiores que aquele valor.

As propriedades físicas desses agregados miúdos, popularmente chamados de areia influenciam, em muito, o comportamento físico, químico e mecânico das argamassas. Dentre elas, a distribuição granulométrica que determina o coeficiente de vazios, é de funda-

Agregados, Aglomerantes e Argamassas

mental importância porque interfere na porosidade da argamassa, criando os micro e macroporos, que por sua vez indicam o grau e a forma de contaminação pelos sais higroscópicos.

As conclusões de Tristão (1995) a respeito da influência da granulometria dos agregados nas argamassas, informam que as areias classificadas como de uniforme média ou desuniforme apresentam menores volumes de vazios que as areias classificadas como muito uniformes. Da mesma forma, a absorção por capilaridade e as características dos poros serão diferentes conforme a composição da própria areia. Por consequência, as areias de grãos uniformes terão um maior volume de vazios, e quanto maior for o tamanho dos seus grãos, maior será também o tamanho de cada um desses vazios.

A procedência das areias é muito importante. Normalmente elas são obtidas em jazidas, nos leitos dos rios e no mar.

Quando em jazidas, apresentam um excesso de pó e têm uma superfície externa mais angulosa, dificultando a sua trabalhabilidade. Estas duas características podem exigir uma quantidade de água adicional, que depois de evaporada, deixa a argamassa mais porosa. Ressalta-se, ainda, o que disse Collepari (1990) que estas areias podem ser provenientes de locais próximos a erupções vulcânicas, adquirindo propriedades pozolânicas, conforme será visto no item 4.2.2.

No que se refere as areias dos rios observa-se apenas que por terem a sua forma arredondada, fruto do contínuo processo de rolamento junto com a água, facilitam a mistura reduzindo a necessidade de água.

Finalmente, quando as areias são procedentes da orla marítima, das praias ou dos estuários dos rios, afirma Neville (1997) que elas contêm sais e por isso devem ser lavadas com água doce. Muitas vezes pode existir até 6 % de sal em relação a massa dessa areia.

3.3 Aglomerantes

Os aglomerantes, normalmente em forma de pó, são os responsáveis pela coesão dos agregados, compondo as argamassas e os concretos. Dentre as várias classificações existentes, a que mais interessa aqui, é a referente ao seu processo de endurecimento, em razão do ambiente em que se processam as reações químicas.

Agregados, Aglomerantes e Argamassas

Define-se como aglomerante aéreo aquele em que essas reações somente acontecem na presença do ar, enquanto os aglomerantes hidráulicos reagem também dentro da água e por esta razão, as reações são mais estáveis, produzindo uma maior resistência mecânica no material resultante.

Em relação ao período inicial em que estes elementos foram originalmente utilizados nas argamassas, pode-se afirmar, em razão do conhecimento existente para obtenção dos níveis de temperatura para a sua fabricação, que o primeiro aglomerante foi o gesso, seguido pela cal, cal hidráulica e, finalmente, o cimento Portland.

3.3.1 Gesso

O gesso semihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) é um aglomerante que endurece, ao secar, depois de ser misturado com água. Este endurecimento acontece somente na presença do ar. Ele é usado em forma de pasta para estuque ou ornatos, na forma de argamassa de revestimento, sendo este uso restrito aos interiores da edificação, devido a sua desagregação quando em contato com a água da chuva. Também foi utilizado, no passado, na forma de argamassa para assentar tijolos e pedras. Uma outra utilização é como elemento regulador do tempo de “pega” do cimento Portland. Segundo Collepardi (1990), o gesso foi o primeiro aglomerante, em forma de pó, a ser utilizado nas construções, pois para a sua produção necessita-se de uma temperatura relativamente baixa, em torno dos 200 °C.

Os antigos egípcios usaram gesso nas juntas de argamassas para fixar as pedras da pirâmide de Queops, em 2500 a.C. Sabe-se ainda, que ele foi amplamente usado em argamassas, na execução de paredes de alvenaria em construções históricas, mesmo após o aparecimento da cal, cujas características asseguram ser um aglomerante tecnologicamente melhor.

3.3.2 Cal e pozolana

A cal hidratada (Ca(OH)_2) também endurece somente na presença do ar. Depois de misturada com a água, ela reage com o gás carbônico (CO_2) presente na atmosfera, para

Agregados, Aglomerantes e Argamassas

formar carbonato de cálcio, (CaCO_3). A produção de cal começou logo após a do gesso, pois necessita de uma maior temperatura em torno dos $900\text{ }^\circ\text{C}$ para a sua obtenção.

Os egípcios sabiam como produzir este material, que posteriormente foi usado em larga escala, pelos gregos e além deles, pelos romanos.

No início, a cal foi utilizada sob a forma de argamassa, através da mistura de cal, água e areia comum. Depois, descobriu-se que substituindo-se a areia comum por areias vulcânicas originais (do tipo que existe perto da cidade de Pozzuoli), a argamassa passou a reagir quimicamente também dentro d'água, tornando-se, portanto, hidráulica. O tipo de areia que possibilita esta troca de endurecimento somente ao ar para também dentro d'água, ainda que o aglomerante usado seja aéreo é definida como pozolânica, segundo Collepardi (1990).

Embora a descoberta de argamassas hidráulicas seja comumente atribuída aos romanos, acredita-se que os fenícios e os israelitas, no século X a.C., já sabiam esta técnica, uma vez que fizeram a proteção de “obras hidráulicas” como: aquedutos, portos, tanques, etc. onde a água poderia desagregar as argamassas rapidamente, se estas fossem aéreas. O reservatório de água potável do rei Salomão, construído em Jerusalém, era protegido por argamassas hidráulicas obtidas pela mistura da cal e pó de tijolo moído, que também tem características pozolânicas.

Estes efeitos ocorrem, principalmente, devido a presença na pozolana, de sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3) que reagem com a cal porque possui um estado amorfo e vítreo, além de baixa superfície específica. Muitas vezes, estes mesmos fenômenos foram obtidos pela substituição de parte da areia comum por pó de argila queimada ou cerâmica queimada (pó de tijolo ou ladrilho). Ambos, areia de origem vulcânica (pozolana natural) e cerâmica queimada (pozolana artificial) reagem com a cal, trocando o aluminato hexagonal hidratado (C_4AH_x - representação simplificada), para um tipo de hidrossilicato de cálcio, o qual proporciona resistência e, em particular, endurecimento dentro d'água.

Semelhante aos romanos, quem certamente verificou a importância da pozolana em trabalhos hidráulicos ou em construções expostas a ação das chuvas foram os gregos, empregando pozolanas na forma de areia, especialmente através do uso de cinzas vulcânicas da ilha de Santorine.

Agregados, Aglomerantes e Argamassas

Dessa forma, após a descoberta do comportamento hidráulico da cal e da mistura pozolânica à cal, começou a confeccionar-se um “concreto”, através da mistura de cal, areia pozolânica, pedras cortadas e água.

3.3.3 Cal hidráulica

Séculos se passaram antes da descoberta de um tipo especial de cal, que, independente da presença de pozolana, tinha por si só, a possibilidade de endurecer e resistir a ação da água. Esta cal especial foi chamada de cal hidráulica.

Ainda segundo Collepardi (1990), em 1570 o arquiteto italiano Andrea Palladio fez menção a uma extraordinária cal obtida de uma pedra calcária com propriedades hidráulicas perto de Pádua. Ele declarou: *“A cal obtida desta pedra endurece imediatamente e pode ser usada em ambos os trabalhos, com água e expostos ao tempo”*.

Hoje, sabe-se que as propriedades hidráulicas da cal descritas por Palladio foram devido a existência de argila, como impureza, na pedra calcária. Esta argila (rica em sílica e alumina), forma o silicato dicálcico (C_2S) e aluminato monocálcico (CA) durante o cozimento, quando está presente o óxido de cálcio (CaO). Quando a cal hidráulica era misturada com água e areia, o C_2S e CA reagem com a água e tinham condições de endurecer dentro d'água. Deste modo, o primeiro cimento rudimentar moderno começou a ser confeccionado, o qual deve a sua alta resistência e propriedades hidráulicas à presença de silicatos e aluminatos de cálcio.

Algum tempo passou para que se tivesse uma produção científica e racional da primeira cal hidráulica, e depois, o cimento Portland. Somente após a revolução industrial e o início da moderna química de Lavoisier, em torno da metade do século XVIII, com os princípios da análise química de rochas, de forma mais profunda, que a indústria produziu aglomerantes melhor que aqueles.

Contudo, do ponto de vista prático, as argamassas hidráulicas certamente foram usadas desde meados do século XVIII, através da cal hidráulica, água e areia normal, que, uma vez endurecida, não mostra significantes diferenças das antigas argamassas hidráulicas desenvolvidas pelos romanos e consistindo de cal, pozolana, areia e água.

Agregados, Aglomerantes e Argamassas

3.3.4 Cimento Portland

O Cimento Portland é um aglomerante hidráulico bem mais recente, cuja produção, em escala industrial, foi iniciada por volta de 1890, todavia, por razões práticas, tenha-se adotado esta data como o início do século XIX. Embora não faça parte dos aglomerantes utilizados nas construções anteriores àquela data, este aglomerante é utilizado hoje, na recuperação daquelas edificações, cuja grande maioria tem muito valor histórico. Por suas características próprias e também por ser possível o contato direto com os outros aglomerantes mais antigos, sob condições que serão estudadas no próximo capítulo, podem interagir negativamente, com aqueles.

O cimento Portland é um material em forma de pó, constituído de silicatos e aluminatos de cálcio. Estes materiais ao serem misturados com água hidratam-se, endurecendo a massa e tendo, por consequência, uma elevada resistência mecânica.

Este cimento resulta da moagem do clínquer, o qual é obtido através de uma mistura de calcário e argila, convenientemente dosada e homogeneizada, aquecida até a fusão incipiente, em torno de 1450 °C. Na sua produção, após sofrer um pré aquecimento, a mistura continua a ter a sua temperatura elevada até se transformar de pó, numa pasta. A primeira reação que se processa é a reação do óxido de ferro com a alumina e cal, formando o ferro aluminato tetracálcico $4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$ - (C_4AF), até esgotar-se o ferro. A segunda reação é a combinação da alumina com o excedente de CaO , formando o aluminato tricálcico $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$ - (C_3A), até acabar a alumina. Finalmente acontece a formação do silicato tricálcico 3CaOSiO_2 - (C_3S) e do silicato dicálcico 2CaOSiO_2 - (C_2S), podendo ainda resultar CaO livre, em pequenas quantidades.

Após este processo, adiciona-se sulfato de cálcio (CaSO_4) a fim de regularizar o tempo de início das reações químicas do próprio cimento, cujo teor de sulfato não deve ultrapassar a 3%.

3.4 Argamassas

As argamassas empregadas na construção de edifícios são definidas, segundo Petrucci (1975) como “*materiais de construção constituídos de uma mistura íntima de um ou*

Agregados, Aglomerantes e Argamassas

mais aglomerantes, agregado miúdo e água, podendo ser adicionados alguns produtos especiais”.

A definição de argamassa comumente utilizada na literatura técnica é muito pobre e incompleta, ou seja, dizer que argamassa é o produto obtido pela mistura homogênea de aglomerante (s), agregado (s) miúdo(s) e água, com ou sem aditivos, não contempla o universo de sua aplicação. Oliveira (1995) critica tal conceito e pergunta: *“Onde ficariam as argamassas poliméricas que não se utilizam de água na mistura? Faz quase quatro mil anos que os mesopotâmicos utilizavam-se de argamassas de betume, sem água”*. No entanto, mesmo de forma simplista, é aceita por muitos profissionais.

3.4.1 Funções e classificação das argamassas

Segundo Tristão (1995), as funções do revestimento de argamassa podem ser caracterizadas pela segurança, habitabilidade, compatibilidade com a base e entre os próprios materiais. Tal afirmação poderia ser complementada, especialmente para os edifícios mais antigos, pelo fato de que esta compatibilidade também deve ser com a tinta de acabamento, conforme as características destas edificações, citadas em 2.2.

Quanto a sua classificação, mostrada no Quadro 2 de acordo com o projeto de norma 02:102.17-005.3.1, também é passível de crítica, uma vez que o próprio gesso não é sequer citado como um dos possíveis aglomerantes.

Quadro 2 - Classificação das argamassas

Tipo de Argamassa	Critério da Classificação
Aérea e Hidráulica	Natureza do revestimento
Cimento e Cal	Tipo do aglomerante
Simples e mista	Número de aglomerantes
Chapisco, emboço e Reboco	Função do revestimento

Fonte: adaptado do projeto de norma 02:102.17-005.3.1 citado por Tristão (1995)

Agregados, Aglomerantes e Argamassas

3.4.2 Microestrutura das argamassas

As argamassas, de modo semelhante ao concreto, porém com agregados de menor dimensão, apresentam uma microestrutura muito heterogênea, complexa e dinâmica. Segundo Metha e Monteiro (1994), observada de forma macroscópica, apresenta duas fases distintas, denominadas como pasta e agregado. No entanto, vistas ao microscópio, em face a distribuição não homogênea dos agregados e dos próprios vazios ali existentes, apresentam regiões mais frágeis enquanto outras têm uma densidade maior. Surge assim, uma terceira fase, adjacente ao material inerte, ou seja o próprio agregado, influenciando em muito, o comportamento mecânico desse material.

Segundo o GEHO (1995), além do micro-clima, a permeabilidade está decisivamente influenciada pela estrutura porosa da massa, surgindo pois, dois importantes parâmetros relacionados com o transporte de substâncias no interior dos poros dos materiais de construção, e conseqüentemente, das argamassas:

- porosidade fundamental e
- distribuição do tamanho dos poros.

A porosidade fundamental está relacionada com os poros interconectados, através dos quais é possível o transporte dos líquidos e dos gases e/ou intercâmbio de substâncias dissolvidas.

A distribuição do tamanho dos poros influi particularmente sobre o tipo e velocidade dos mecanismos de transporte e sobre os mecanismos de fixação, em relação com a água. O tamanho dos poros da pasta abrange várias ordens de magnitude, o que permite classificá-los, segundo sua origem e características, em: poros de compactação, poros de ar fechado, poros capilares e poros de gel.

Em termos mais gerais, se podem classificar os citados tipos de poros em: microporos, poros capilares e macroporos. De todos eles, os poros capilares e os macroporos são os mais estreitamente relacionados com a durabilidade do material.

Esta particularidade, aliada aos vazios, quer seja do próprio material ou da evaporação da água de amassamento e as microfissuras que estão espalhadas de forma aleatória no material, dificulta qualquer previsão exata do comportamento das argamassas. A instabilidade na previsão do comportamento das argamassas ainda é agravada pelas variações do clima, principalmente da umidade relativa do ar e da temperatura.

Agregados, Aglomerantes e Argamassas

3.4.3 Mecanismos de transporte nas argamassas

Em quase todos os processos químicos que incorporam sais às argamassas e afetam a sua durabilidade, existem fatores a influenciar seu desempenho. São eles, principalmente, o transporte de gases, de água e de agentes agressivos dissolvidos. A velocidade, extensão e efeito de transporte, assim como os mecanismos de ligação, estão muito influenciados pela estrutura dos poros, a sua forma e o micro-clima próximos a superfície. Nesse contexto, a estrutura dos poros abrange tanto o tipo de poros como a sua distribuição, em relação ao seu volume.

A estrutura dos poros e a configuração das fissuras, assim como o conteúdo de água nos mesmos, são fatores que determinam a “permeabilidade” da argamassa que, por sua vez, controla a penetração de substâncias e gases dissolvidos. A velocidade destes processos de transporte depende consideravelmente do mecanismo de transporte.

Por sua parte, os mecanismos de criação das ligações químicas vem afetados pela composição química dos aglomerantes e das propriedades dos agregados.

Em resumo, a composição, os cuidados com o processo de mistura e de secagem, o ambiente dentre outros elementos irão influenciar, em muito, o comportamento das argamassas.

3.4.4 Ensaios nas argamassas

Vários tipos de ensaios podem ser realizados para indicar as características das argamassas e os fenômenos a que estão sendo submetidas. Dentre eles, merecem ser citados: recomposição de traço, granulometria dos agregados, teor de umidade, grau de saturação, grau de umidificação, adsorção de água, porosimetria, difração de raios X, análise térmica diferencial, análise qualitativa e quantitativa de sais higroscópicos, microscopia ótica de seções polidas, capilaridade ascendente, concentração hidrogeniônica, absorção total de água, permeabilidade à água, permeabilidade ao vapor d'água, resistência mecânica etc.

Alguns desses ensaios, mais diretamente ligados aos objetivos do presente trabalho, são descritos a seguir:

Agregados, Aglomerantes e Argamassas

3.4.4.1 Teor de umidade

O teor de umidade é a diferença percentual entre o peso de uma amostra de argamassa e o seu peso seco. Quando há necessidade de se fazer um diagnóstico da situação de uma parede num edifício, a sua definição passa a ser imprescindível para que se possa definir a origem desta água (será visto com detalhes no Capítulo 4). Assim, retirando-se amostras provenientes de profundidades e alturas diferentes na parede, permite-se uma primeira indicação acerca da distribuição de umidade no edifício. Ressalta-se, ainda, que imediatamente após a sua retirada, com o auxílio de uma broca tipo “copo”, cada corpo de prova deverá ser embalado de forma adequada, a fim de não perder suas características originais.

3.4.4.2 Grau de saturação

O grau de saturação é definido como a capacidade de retenção de água de cada material, cujo valor é dependente das suas características microestruturais. Para se determinar o seu valor, faz-se a imersão total dos corpos de prova na água até que haja constância de peso. Posteriormente, verifica-se o seu peso seco, calculando-se a relação percentual entre esses valores. Contudo, nem sempre os vazios dos microporos estarão completos de água, já que isto ocorre somente com umidade de longa duração, sob pressão ou outras influências de forças externas. Portanto, o procedimento de imersão para determinação da umidade de saturação não precisa levar necessariamente a umidade efetivamente possível. No caso de alvenarias extremamente molhadas, raramente pode ocorrer de a retenção de água no laboratório ficar abaixo da umidade dos materiais, sem no entanto, prejudicar a avaliação das medidas de recuperação.

3.4.4.3 Grau de umidificação

O grau de umidificação é dado pela razão entre o teor de umidade do material e o grau de saturação desse mesmo material. Seu resultado é um valor importante para se determinar a extensão da umidade. O grau de umidificação permite ainda uma comparação da umidade específica dos materiais com as diferentes porosidades.

Agregados, Aglomerantes e Argamassas

3.4.4.4 Adsorção de água

O ensaio de adsorção d'água é feito com os corpos de provas totalmente secos, onde o material é colocado em ambientes com temperatura e umidade relativa do ar predefinidas. Dois são os ambientes mais comuns. Num deles, a temperatura deve estar em torno de 20 °C e com a umidade relativa de 97 %, e assim o material só poderá adsorver água através de sua característica higroscópica. No outro, à mesma temperatura, mas com uma umidade relativa de 52 %, indica o grau de umidade mínimo esperado, no caso de todas as outras possibilidades de umidade terem sido excluídas. Essa adsorção de água é determinada geralmente pela dimensão e distribuição dos poros do material. Os percentuais de umidade daí resultantes estarão sempre abaixo da área de danos à construção. No entanto, se houver a presença de sais higroscópicos depositados, a adsorção de água pode ser muito aumentada, ficando os materiais tão umedecidos, que mesmo sem umidade ascendente, poderá ocorrer deterioração nas argamassas.

3.4.4.5 Presença de sais

Para a análise dos sais devem ser caracterizadas a espécie e a quantidade dos principais grupos de sais danosos aos edifícios, que serão vistos posteriormente. A comprovação parcialmente quantitativa indica as quantidades dos sais prejudiciais no material de construção, em quantidades aproximadas. Esta análise deve ser feita para se definir a quantidade e a qualidade dos sais presentes, ressaltando que deve ser identificado somente os sais livres e não aqueles quimicamente combinados, pois estes não sofrem alteração química da sua estrutura cristalina, quando presentes num ambiente úmido.

3.4.4.6 Concentração hidrogeniônica

A concentração hidrogeniônica, representada pelo pH informa sobre as características ácidas ou básicas dos materiais de construção. As argamassas são básicas quando frescas, neutralizando-se com o passar do tempo, devido a sua carbonatação progressiva. Essa indicação permite, nos rebocos, uma avaliação relativa da sua idade. Substancialmente

Agregados, Aglomerantes e Argamassas

mais importantes são, no entanto, as conclusões sobre agressões ácidas anteriormente ocorridas na parte do edifício com valores de pH abaixo de 7,0. Nestes casos é, por ocasião da execução de novos rebocos fortemente básicos, impossível evitar a nova formação de sais, geralmente danosos aos materiais de construção. Além disso, há a possibilidade que a justaposição de materiais de construção novos e antigos, com valor de pH muito diferenciado, em zonas úmidas, levem ao acréscimo do transporte de água na alvenaria, devido ao efeito eletrocinético.

Os resultados obtidos nesses ensaios são imprescindíveis para se ter uma visão completa dos fenômenos que poderão estar acontecendo com as argamassa em estudo.

3.4.5 Argamassas de restauro

Para execução de trabalhos de restauração de rebocos deve existir uma compatibilidade da nova argamassa com os próprios materiais do seu substrato e também do revestimento que estará sobre ela, normalmente as tintas.

Segundo Oliveira (1995) muitas amostras analisadas de antigas argamassas brasileiras e mesmo estrangeiras, de construções do século XVI até o início do século XX, tinham suas proporções entre aglomerante e agregado entre 1:2 e 1:4, de cal e areia, reafirmando o que disse Vitruvius: *“Uma vez que a cal está extinta misturar-se-á uma parte dela com três de areia, se for de jazida e com duas se for de rio ou de mar”*.

Plínio também escreveu: *“existe areia de jazida à qual deve ser adicionado um quarto do seu peso em cal, ou como alternativa areia do mar, a qual deve ser adicionado um terço”*.

Saliente-se que ambos indicam areia do mar para a mistura, o que hoje é veementemente condenado, devido a significativa presença dos sais de cloreto e sulfato.

Em determinados trabalhos difundiu-se muito o uso das argamassas “bastardas”, entendidas como aquelas em que se adiciona um certo percentual de argila (saibro), a qual traz algumas melhorias em certas propriedades do material, principalmente a plasticidade.

Um outro tipo de argamassa utilizada em edifícios antigos, quando existe a presença de sais higroscópicos, é a comumente chamado de *reboco de sacrifício*. Esta argamassa, de uso temporário, tem como função reter os sais, que ficam no seu substrato. Ao fim de um determinado período, a mesma é retirada e substituída por outra. Saliente-se que esse

Agregados, Aglomerantes e Argamassas

tratamento deve ser utilizado somente quando a fonte de alimentação desses sais tenha sido eliminada para que não voltem a contaminar o novo reboco.

Atualmente está sendo utilizada em restaurações aqui em Florianópolis uma argamassa a base de cal, pó de tijolo e areia. Este material, foi objeto de teste no Palácio Cruz e Sousa e também no próprio Laboratório de Tecnologia do Restauro (item 6.5). A restauração do Teatro Álvaro de Carvalho teve grande parte do seu reboco externo executado com este tipo de argamassa.

Finalmente, existe um outro tipo de argamassa, utilizada para tratar alvenarias contaminadas por sais higroscópicos, denominada como *reboco de recuperação*, é um dos objetos principais deste estudo. Esta argamassa é indicada para ser utilizada em revestimentos onde o substrato está contaminado por sais e não se pode eliminar a fonte de contaminação. Este material possui algumas propriedades que possibilitam uma vida útil mais ampla para o revestimento. Posteriormente se estudarão com mais profundidade as suas características.

Os rebocos de recuperação são produtos normalmente industrializados, isto é, prontos para uso, necessitando apenas do acréscimo de água. Podem ser aplicados em três ou duas camadas: chapisco, emboço e reboco ou chapisco e massa única de emboço e reboco. Para cada uma das camadas, tendo uma composição específica para cada uma delas.

Estes rebocos de recuperação, que de acordo com informações do IGS, são compostos por: aglomerante, agregado miúdo, incorporador de ar, aditivo retentor de água, agregado leve, hidrofugante, carga e água buscam tirar partido dos altos graus de porosidade de sua constituição, que permitem o fluxo interno/externo da umidade gerada pelas variações das condições ambientais, possibilitando à parede “respirar” normalmente. Possuem hidrofugantes em sua formulação, o que dificulta a penetração de água em estado líquido, sem, no entanto, impedir a saída de vapor d’água. Ao contrário do emboço, o reboco de acabamento é bastante hidrófobo e com isto propicia uma proteção externa contra a água da chuva.

Os rebocos de recuperação buscam neutralizar os danos provocados pela umidade e salinidade das alvenarias afetadas, permanecendo como rebocos de acabamento final das alvenarias. Quando a umidade sai da parede em forma de vapor d’água, os sais cristaliza-

Agregados, Aglomerantes e Argamassas

dos ficam retidos de forma inerte dentro dos grandes poros da camada de emboço, sem prejuízo, portanto, para o substrato.

Para sua aplicação, as superfícies de alvenaria deverão ser umedecidas previamente. O chapisco deve ser aplicado de maneira esparsa essa alvenaria, não devendo cobrir mais de 50% de sua área, de forma a não criar uma barreira mais impermeável junto ao paramento da alvenaria. A segunda camada, o emboço é muito porosa. Nela, o sal cristalizado deverá ficar depositado, razão pela qual a dimensão desses poros deve ser significativa. Finalmente, a camada de acabamento ou o reboco propriamente dito, quando existir, deverá ser menos rugosa, pois terá como complemento somente a tinta.

A espessura mínima de aplicação deverá ser de 2 cm, e caso sejam necessárias espessuras maiores, devem ser aplicados em camadas sucessivas.

Algumas recomendações, não muito diferentes das argamassas utilizadas nos revestimentos normais, são necessárias para a sua aplicação. Limpar a superfície em que será aplicada a argamassa, umedecer a parede, utilizar-se a água de amassamento na quantidade indicada, não exceder muito o tempo de aplicação, evitar a evaporação prematura da água depois da aplicação da massa.

Merece destaque ainda, que para se efetuar a mistura dessa argamassa deve se utilizar um misturador, com o objetivo de se incorporar ar na massa, que é um dos fundamentos desse tipo de material.

3.5 Considerações finais

Pelo exposto, verifica-se o grau de complexidade das variáveis que interferem no comportamento das argamassas. Algumas delas, principalmente aquelas ligadas aos próprios materiais componentes, podem ser objeto de um controle de qualidade mais rigoroso, e assim, dependendo da qualificação da mão-de-obra, propiciam a confecção de uma argamassa mais estável. Contudo, as variáveis ambientais, principalmente externas, não permitem um controle total, influenciando no desempenho final das argamassas. Nos edifícios antigos, tal situação pode ser agravada, principalmente em relação a contaminação por sais, devido a forma com que estes foram construídos, especialmente as suas fundações e a alvenaria.

Agregados, Aglomerantes e Argamassas

Diagnosticada a presença de sais, certas características das argamassas de reboco devem ser melhoradas, com objetivo de enfrentar estes fenômenos, visando reduzir os danos provocados pela salinização, se não de forma definitiva, pelo menos aumentando a sua vida útil. Esta ampliação tem por consequência a redução dos custos de manutenção do edifício.

Para tanto, existe a necessidade de um conhecimento mais amplo da interferência da umidade no processo de degradação provocado pelos sais, bem como uma análise mais substancial dos próprios sais, que será apresentado a seguir.

4 OS FENÔMENOS DA UMIDADE E SALINIDADE

4.1 Generalidades

Desconsiderando-se as causas estruturais a que as construções estão sujeitas devido ao excesso de tensões provocadas pela sua carga atuante, os mecanismos que causam a deterioração dos revestimentos de alvenarias de construções antigas, antes de qualquer intervenção através de trabalhos de restauração, podem ser atribuídos à causas químicas e/ou físicas.

Estes fenômenos que determinam a durabilidade do edifício estão ligados, principalmente, aos fenômenos de transporte de elementos, combinado com o calor, umidade e substâncias químicas, através da argamassa e a troca com o exterior (micro-clima), assim como os parâmetros que controlam os próprios mecanismos de transporte.

Cabe ressaltar, que somente as causas químicas serão estudadas no presente trabalho. Contudo, é importante reconhecer-se que a água desenvolve um papel decisivo nas anomalias geradas nos revestimentos de edifícios, por dois motivos principais:

a - primeiro, a água, em forma líquida ou de vapor está intimamente envolvida em todas as reações químicas que podem causar degradação, como será visto adiante;

b - segundo, a água em forma líquida tem uma importante função ao levar um componente químico em direção ao outro, realizando, deste modo, um contato físico entre os dois elementos, sem o qual a reação química entre eles não poderia acontecer.

Por consequência, evitar a presença descontinuada de umidade nas alvenarias é uma necessidade. Este cuidado, reduz consideravelmente as condições para iniciar a degradação. Além disso, as alvenarias que sempre estiveram secas, e por isso não apresentaram qualquer degradação química, podem ter elementos no seu interior, com potencial de interagir quimicamente, e assim produzir componentes de deterioração, na presença de umidade.

O transporte da água através da argamassa vem determinado pelo tipo, tamanho e distribuição dos seus poros e pelas fissuras (micro e macro-fissuras). Assim pois, o controle da natureza e distribuição de poros e fissuras se converte em um trabalho essencial durante o

Os Fenômenos da Umidade e Salinidade

processo inicial de execução das argamassas.

Esse problema torna-se mais grave nos edifícios antigos, onde, por questões tecnológicas da época, não se executava uma impermeabilização adequada de suas fundações, proporcionando assim, a penetração da umidade para a alvenaria e o reboco, por capilaridade. Diante disso, torna-se necessária uma explanação inicial sobre a umidade, para, posteriormente, serem feitos alguns comentários referentes aos fenômenos de salinidade e, por fim, analisar-se os aspectos químicos da interação entre esses elementos.

4.2 Umidade

A umidade em paredes constitui-se num dos mais freqüentes problemas que acontecem nas edificações, ocasionando condições de insalubridade e o conseqüente desconforto pessoal, além de contribuir para uma acelerada deterioração dos respectivos materiais.

Muitas vezes, os trabalhos de recuperação estão baseados em diagnósticos incorretos da realidade existente, proporcionando soluções incompletas ou não eliminando as suas reais origens, provocando, em muitos casos, o retorno rápido do problema.

Portanto, o conhecimento das formas de manifestação das anomalias devidas a presença da umidade é um dado essencial, que permite identificar, claramente, as respectivas causas e propor as soluções mais adequadas.

Para tanto, algumas observações serão feitas a seguir, com intuito de conhecer-se melhor os parâmetros que governam tais fenômenos.

Segundo o GEHO (1996), a superfície livre dos sólidos (por exemplo, a superfície dos poros das argamassas) tem um excesso de energia devido a falta de ligações com as moléculas vizinhas. Nos poros da pasta do aglomerante, essa energia superficial tende a compensar-se adsorvendo moléculas de vapor de água sobre as ditas superfícies, formando uma capa de água, cuja espessura depende do grau de umidade no interior dos poros.

Essa capa, por sua vez, é definida pela relação entre a área superficial e o volume dos poros. Aumentando ou diminuindo o raio destes, também o fará a quantidade de água adsorvida em relação ao seu volume, até que, dado um determinado valor limite desse raio, eles estejam completamente cheios de água. Este processo se denomina condensação capilar. O valor limite do diâmetro do poro depende, em princípio, do conteúdo de umida-

Os Fenômenos da Umidade e Salinidade

de do interior do poro, o qual, em caso de condições estáveis, é proporcional a umidade do ar que rodeia o material.

Devido a alta porcentagem e pequeno raio dos poros do gel, a argamassa tem, em termos relativos, um alto conteúdo de água, mesmo que o ar circundante tenha baixa umidade. O aumento da umidade do ar, reduz, portanto, o espaço disponível para a difusão dos gases. Como consequência, a permeabilidade da argamassa aos gases diminui consideravelmente ao aumentar a espessura da capa de água das paredes dos poros, até tal ponto que em argamassas saturadas de água, a difusão dos gases (CO_2 , O_2 , etc.) se reduz praticamente a valores desprezíveis.

No caso de materiais continuamente submersos, grandes quantidades de água podem ser transportadas sob condições desfavoráveis. A penetração da água tem lugar primeiro por sucção capilar, possivelmente acelerada por um aumento da pressão hidráulica. Um transporte contínuo de água somente se efetua quando a água puder evaporar das superfícies expostas ao ar. A intensidade deste transporte depende da relação entre a evaporação, sucção capilar e pressão hidráulica.

Junto com esta água são transportados os agentes dissolvidos (carbonatos, cloretos, sulfatos, nitratos, etc.). Sem dúvida, estes agentes tendem a depositar-se, em consideráveis concentrações, nas zonas do material onde se produz a evaporação. O aparecimento de eflorescências (sais cristalizados) pode ser explicado por tal mecanismo, pois os agentes previamente dissolvidos cristalizam na superfície da argamassa.

As forças expansivas criadas pela cristalização dos sais nestas superfícies causam problemas nos materiais, especialmente naqueles mais porosos, como argamassas, mármore, arenitos, etc. tornando-se uma das causas mais sérias de deterioração.

4.2.1 Formas de manifestação de umidade

As anomalias geradas pela presença de umidade podem se manifestar sob várias formas. Para cada tipo de caso, vários sintomas diferentes podem ser originados, os quais poderão ser detectados visualmente ou através de ensaios e análises posteriores. Muitas vezes, apenas a observação visual poderá acarretar incertezas na definição precisa da anomalia, devido ao fato de vários destes sintomas não serem especí-

Os Fenômenos da Umidade e Salinidade

ficos de uma determinada causa e sim de várias.

Segundo Henriques (1995), a umidade em uma edificação se manifesta de várias formas diferentes, dentre as quais destaca-se:

- a) umidade do terreno;
- b) umidade de construção;
- c) umidade de precipitação;
- d) umidade de condensação;
- e) umidade decorrente da higroscopicidade;
- f) umidade provenientes de outras causas.

4.2.1.1 Umidade do terreno

As águas do solo podem, muitas vezes, provocar problemas específicos de umidade nas paredes de subsolo e pavimentos térreos. A grande maioria dos materiais de construção existentes hoje possuem uma capilaridade elevada, fazendo com que a água possa migrar do solo, na ausência de qualquer barreira que iniba este deslocamento.

Os condutos capilares são canais de diâmetro finíssimo, que serpenteiam através dos materiais com uma rede de conexões, com ar entre si, saturando estes materiais com a água, que avança vencendo a força da gravidade. O elemento principal dos fenômenos de capilaridade é o diâmetro desses canais. A ascensão da água nas paredes é inversamente proporcional ao diâmetro desses elementos, ou seja quanto menor o seu diâmetro maior é a altura que a água poderá atingir.

Outros fatores também influenciam nessa altura, tais como: a quantidade d'água que está em contato com a parede; as condições de evaporação desta água através da própria parede; a espessura desta, a sua orientação solar e a época da construção.

De maneira geral, pode-se dizer que a ascensão de água numa parede acontecerá até o nível em que a quantidade de água evaporada pela sua superfície lateral seja igual a absorvida do solo. Por esta razão, sempre que se impermeabiliza uma parede, diminuem-se as suas condições de evaporação e, por consequência, aumenta-se teoricamente o nível da umidade no interior dela, até o ponto em que este equilíbrio esteja restabelecido.

Os Fenômenos da Umidade e Salinidade

Considerando-se constantes as condições ambientais, pode-se afirmar que quanto mais espessa a parede for, maior será a altura atingida pela umidade, uma vez que maior é a quantidade de água vinda do solo, para uma mesma área lateral de parede.

Também os sais que possam existir no terreno e nos próprios materiais de construção poderão ser dissolvidos pela água e transportados através das paredes para níveis mais altos. Esta água, ao evaporar-se, provocará a cristalização destes sais que poderão colmatar os poros existentes, reduzindo a permeabilidade do material e aumentando o nível da umidade.

Na umidade proveniente de água do terreno, visualmente pode ser detectado o aparecimento de manchas nas regiões junto ao solo apresentando, muitas vezes, zonas erodidas no nível superior destas, acompanhadas de manchas de bolor, criptoflorescências ou eflorescências ou vegetação parasitária, principalmente nos locais de pouca ventilação.

As fontes de alimentação de águas às paredes são basicamente de dois tipos: águas freáticas e águas superficiais. Cada uma delas corresponde a diferentes sintomas e possíveis soluções.

Nas situações em que a umidade é proveniente de águas freáticas os fenômenos apresentam-se inalterados durante todo o ano, em virtude do tipo de fonte de alimentação estar sempre ativo. Além disso, a altura das manchas de umidade existem em todas as paredes, sendo mais altas nas interiores que nas exteriores, em função das condições de evaporação serem menos favoráveis naquelas.

Quando são as águas superficiais que acarretam a umidade os fenômenos apresentam variações durante o ano. A altura da umidade pode variar de parede para parede, sendo de nível mais alto nas paredes exteriores que nas interiores, na medida que estas são mais afastadas das respectivas fontes de alimentação.

4.2.1.2 Umidade de construção

Quase todos os materiais utilizados atualmente nas construções necessitam de água para a sua confecção e/ou colocação. Também, nesta fase da obra os materiais e a própria edificação estão mais sujeitas a ação direta da água da chuva, o que amplia ainda mais o teor da umidade no seu interior.

Os Fenômenos da Umidade e Salinidade

Grande parte dessa água evapora rapidamente, mas outra parte demora muito tempo para ser eliminada. Segundo Henriques (1995), o processo de secagem de materiais porosos acontece em três fases distintas. Na primeira, a evaporação é somente da água superficial. Na segunda fase, evapora a água contida nos poros de maior diâmetro, num processo mais demorado. Finalmente, a liberação da água existente nos poros de menor dimensão, cujo processo é extremamente lento, poderá acontecer ao longo de muitos anos.

Aprofundando estes fenômenos, no que se refere às argamassas, Metha e Monteiro (1994) complementam que estão associadas a esta pasta, quatro incorporações diferentes de água. A água capilar, composta pela água livre e água retida por tensão capilar, a água adsorvida pelo material, a água interlamelar e, finalmente, a água quimicamente combinada.

A água capilar está contida nos canais maiores que 50 \AA . Compreende a água livre (em canais com dimensões maiores que $0,05 \text{ mm}$, muito facilmente retiradas da pasta pois não se necessita de muita energia para isso) e a água retida por tensão capilar (dimensões de canais variando entre 5 e 50 nm , cuja retirada provoca retração).

A água adsorvida é aquela retida nos capilares com diâmetro em torno de 15 \AA , através de pontes de hidrogênio, em até seis camadas. Somente é retirada com uma umidade relativa do ar - URA em torno dos 30%, fato este que provoca a retração da pasta por secagem.

A água interlamelar está associada ao silicato hidratado de cálcio, representado pela fórmula genérica $x\text{CaO} \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$, algumas vezes também indicado, de forma representativa, por C-S-H, localizando-se entre suas camadas e ligadas também por pontes de hidrogênio. A sua retirada somente acontece quando existir uma URA menor que 11%, provocando uma retração na estrutura do próprio C-S-H.

Finalmente, a água quimicamente combinada que faz parte da estrutura dos produtos hidratados e somente é retirada à altíssimas temperaturas.

De forma geral, as anomalias devidas a este tipo de umidade cessam num período mais ou menos curto de tempo, que depende das características e do tipo de utilização do edifício e da região climática em que o mesmo está inserido.

Os Fenômenos da Umidade e Salinidade

4.2.1.3 Umidade de precipitação

A ação da água da chuva sobre uma parede pode assumir diversos componentes. A energia cinética das gotas de água pode provocar penetração direta, sempre que haja incidência dessas gotas nas fissuras ou em juntas mal vedadas das paredes. Também esta ação continuada da chuva pode formar uma cortina de água, que ao escorrer pela parede, pode penetrar nela por gravidade, como resultado da sobrepressão causada pelo vento ou por ação da capilaridade dos materiais.

Os mecanismos de transporte de água no caso das superfícies que estejam molhadas por chuvas e respingos de água, segundo GEHO (1996), acontecem por sucção capilar, onde a saturação é muito rápida. As substâncias dissolvidas na água são transportadas e a difusão dos gases é praticamente impedida. Somente quando os mecanismos de transporte da água desaparecem por que se alcança um estado de equilíbrio, esta difusão, outra vez, volta a ter um papel dominante.

O efeito da sucção capilar depende da energia superficial dos poros. A tendência a adsorver água destas superfícies cria uma sucção capilar sempre que haja água disponível. A altura da coluna d'água nos poros é regulada pelo equilíbrio entre as forças de adsorção das superfícies e o peso da dita coluna de água. No caso de uma sucção na direção horizontal, a profundidade de penetração depende, em princípio, do excesso de água na superfície e do tempo em que ela permanece ali. No entanto, a água se absorve na argamassa de reboco, através da sucção capilar, a uma velocidade consideravelmente maior a que se perde por evaporação.

Todavia, Henriques (1995), afirma que a chuva em si não se constitui em problemas para a construção. Contudo, quando está acompanhada pelo vento, gera uma componente horizontal tanto maior quanto maior for a sua intensidade, que pode aumentar a penetração da água nas paredes.

As anomalias manifestam-se através do aparecimento de manchas de umidade de dimensões variáveis nos paramentos interiores das paredes exteriores, em correspondência com a ocorrência de precipitações, que tendem a desaparecer quando cessam os períodos de chuva. No entanto, em períodos prolongados pode haver a ocorrência de bolores, eflorescências e criptoflorescências.

Os Fenômenos da Umidade e Salinidade

4.2.1.4 Umidade de condensação

Na composição do ar existe, além de gases, uma determinada quantidade de vapor d'água. A quantidade máxima deste vapor, chamada limite de saturação, varia em razão da temperatura, aumentando quando a temperatura aumenta e diminuindo quando esta diminui. Por consequência, quando uma massa de ar é arrefecida (diminui a sua temperatura) certa quantidade de vapor d'água se condensa dando origem a formação de nevoeiro.

Chama-se pois, Umidade Relativa do Ar (URA), o quociente entre a quantidade de vapor d'água que o ar contém (W) e a quantidade máxima que o ar poderia conter, a essa temperatura (Ws).

$$URA = W/W_s$$

Quando o ar se encontra no seu limite de saturação (100 %), tem-se o valor de umidade absoluta igual ao de umidade de saturação.

Face ao dito anteriormente, é fácil perceber que a umidade relativa do ar varia conforme a temperatura que se encontre, aumentando quando a temperatura diminui e diminuindo quando a temperatura aumenta, porque, neste caso, aumenta o limite de saturação, sendo que em ambos os casos a umidade absoluta é constante. Normalmente estas relações são representadas num diagrama psicrométrico, no qual se pode visualizar facilmente tais variações.

A condensação deste vapor acontece normalmente ao amanhecer, no interior das edificações junto aos paramentos internos das paredes externas, pois essas faces, de modo geral, têm uma temperatura inferior a do ar ambiente. Este fato dá origem ao aumento da umidade relativa do ar na camada de contato com a parede, o que provoca estas condensações.

4.2.1.5 Umidade devido à fenômenos de higroscopicidade

Apesar de ser estudada, com mais detalhes, na sequência deste capítulo, são apresentadas, neste momento, apenas algumas considerações básicas sobre a umidade decorrente à fenômenos de higroscopicidade.

Muitos materiais de construção existentes no mercado possuem em sua constituição sais solúveis em meio aquoso. Estes sais também estão presentes em alguns solos, especial-

mente aqueles ricos em matéria orgânica. Quando depositados em ambiente seco não oferecem problemas. No entanto, quando existir umidade, os sais se dissolvem e migram juntamente com a água até a superfície, onde se cristalizam. Este processo de dissolução/cristalização gera um aumento de volume no sal que provoca a desagregação da superfície onde o mesmo está depositado. Quando esta cristalização se dá no interior da superfície o fenômeno é chamado de criptoflorescência e, quando no ambiente exterior, de eflorescência. Alguns destes sais, chamados higroscópicos, têm a capacidade de adsorverem a umidade do ar dissolvendo-se quando esta se encontra acima do intervalo entre 65 e 75%, voltando a se cristalizar quando abaixo deste intervalo.

Os sais que mais freqüentemente estão associados a manifestações patológicas são os sulfatos, os nitratos e os cloretos.

As anomalias que tem por origem estes fenômenos decorrentes da higroscopicidade dos sais são caracterizadas pelo aparecimento de manchas de umidade nos locais com forte concentração de sais, numa determinada altura da parede e, em determinados casos, associados a degradação dos revestimentos da parede. A Fotografia 1 mostra uma situação típica deste fenômeno.

Cybele de Souza Carneiro



Fotografia 1 - Aparência de uma parede com danos provocados pelo fenômeno da salinidade.

Os Fenômenos da Umidade e Salinidade

4.2.1.6 Umidade devido a outras causas

Por serem muitas as ocorrências deste tipo de umidade torna-se muito difícil sistematizar todas as causas possíveis. Mas, de maneira geral, caracteriza-se pela sua natureza pontual, em relação a sua localização e decorre, normalmente, em falhas de equipamentos ou defeitos de construção provenientes de acidentes ou falta de manutenção das instalações hidro-sanitárias e/ou pluviais. Algumas vezes os problemas podem ser provenientes de coberturas mal executadas ou nos acabamentos destas.

4.3 Salinidade

O sal é uma substância essencial ao homem e indispensável a todos os tipos de vida animal. Pode-se verificar a importância do sal, pelas inscrições da história da humanidade, onde são encontradas ilustrações que mostram a sua produção e a sua utilização. A salga dos alimentos já era um hábito totalmente conhecido no Egito, aproximadamente 4.000 anos antes da era Cristã. Os gregos e os romanos também usaram o sal como moeda para suas operações de compra e venda. A palavra salário é derivada de sal, uma vez que com o próprio sal era liquidado uma parte do pagamento das legiões romanas. Um dos acessos principais de Roma ainda hoje chama-se “Vila Salaria”, porque caravanas chegavam por aquela estrada, trazendo sal para a capital do império. Até o século XVIII, a ordem da precedência de comensais em um banquete era indicada em relação ao saleiro de prata colocado na mesa. À cabeceira, sobre o sal, se sentavam o anfitrião e os convidados mais ilustres. Os menos nobres, ficavam abaixo do sal, mais distante do anfitrião.

No fim do século XIX e início do século XX o sal, além de ser usado como tempero e produto medicinal, se tornou uma das matérias-primas essenciais para a indústria química. Seu emprego hoje é extremamente variado, usando-se para a produção de cloro, refrigerante cáustico, barrilha, ácido clorídrico, alumínio, plásticos, produtos têxteis, borracha, celulose e outras centenas de produtos das indústrias químicas, metalúrgicas, alimentícias, etc.

No entanto, nem sempre essa importante substância da vida moderna nos traz benefícios, como será visto adiante.

4.3.1 Definição

O sal pode ser definido, segundo Netto (1995) como “compostos provenientes ou dos ácidos, pela substituição total ou parcial dos seus hidrogênios ionizáveis por cátions, ou das bases, pela substituição total ou parcial dos grupos OH pelos ânions dos ácidos”. Em outras palavras é uma substância iônica, que resulta da reação química entre um ácido e uma base. Hardwick (1965), afirma que quando um íon que se dissolve deixa a superfície do cristal, ele carrega consigo uma camada de moléculas do solvente. Se o solvente for a água, os íons são chamados de hidratados. Algumas vezes as moléculas do solvente estão ligadas fracamente e sem regularidade; outras vezes elas são fortemente ligadas aos íons, numa estrutura complexa. Em muitos casos, as moléculas do solvente se ligam tão fortemente que acompanham os íons quando estes regeneram o cristal. Este conterà então, moléculas de água intercaladas em seu retículo cristalino, chamada de água de cristalização. Os novos cristais terão uma estrutura diferente daquela de forma anidra e podem perder água após um aquecimento.

No entanto, nem todos os sais trazem problemas para as edificações. Para que isto ocorra, duas características vão determinar a periculosidade de sua ação e a sua responsabilidade pelos danos na construção: o grau de solubilidade e o nível de higroscopicidade.

O grau de solubilidade é a capacidade que possuem de se dissolverem em meio aquoso. Deve ser ressaltado, de acordo com Netto (1995) que os sais ditos insolúveis “sofrem um pequeníssima dissociação iônica em água (na prática considera-se que não a sofrem)”. O nível de higroscopicidade é a condição em que este sal adsorve água do meio ambiente. Os sais, ao reterem uma certa quantidade de água em sua estrutura cristalina, cujo valor depende das condições de temperatura e umidade, provocam um aumento no seu volume, originando uma pressão de hidratação contra as paredes dos poros dos materiais em que o mesmo está inserido, podendo rompê-lo. Pode-se dizer que este efeito é muito semelhante ao da água ao se congelar. Salienta-se ainda que isto pode acontecer tanto nos edifícios antigos como nos contemporâneos. Uma imagem deste fenômeno pode ser vista na Fotografia 2.

Para salientar-se a gravidade do problema, Buergo e Limón (1994), através da Tabela 1, indicam a pressão originada pelo aumento do volume de alguns sulfatos ao passar do estado anidro para o estado hidratado, denominada pressão de hidratação. Embora nada

cite no texto, sabe-se que estes valores são teóricos e que algumas condições especiais, também não mencionadas, devem ter sido consideradas.

Cybele de Souza Carneiro



Fotografia 2 - Cristalização de sais no interior de uma parede de tijolos

Tabela 1 - Pressão originada pelo aumento de volume de alguns sais ao hidratar-se

Sal Anidro	Sal Hidratado	Pressão (kg/cm ²)
Na_2SO_4	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	250
MgSO_4	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	250
CaSO_4	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1100

Fonte: Buergo e Limón (1994)

Outra característica que influencia muito nos danos gerados nos poros dos materiais é a pressão de cristalização. A sua fórmula, desenvolvida por Correns e citada em Navarro et al. (2000) diz que a pressão de cristalização P , é diretamente proporcional a taxa de supersaturação, segundo a fórmula (1).

Os Fenômenos da Umidade e Salinidade

$$P = (RT/V_s) \ln (C/C_s) \quad (1)$$

onde:

V_s é o volume molar do sal sólido;

C é a concentração salina da solução;

C_s é a concentração de saturação da solução na temperatura T ;

R é a constante de gás.

Informa o referido autor, que a pressão de cristalização absoluta de cada sal, no caso real, é muito difícil de se avaliar (se não impossível). Através da análise da morfologia do cristal e determinando, quando muito, a sua variação da forma de equilíbrio, é possível oferecer uma estimativa quantitativa da taxa de supersaturação durante a nucleação (início do processo de cristalização). Consequentemente, a pressão de cristalização alcançada no poro pode ser estimada.

Beichel (1997) cita os valores para esta pressão, os quais estão indicados na Tabela 2, informando também a relação entre a concentração existente na solução e a concentração de saturação deste mesmo sal, em duas temperaturas distintas.

Tabela 2 - Pressão de cristalização do Cloreto de Sódio e Sulfato de sódio

	$C/C_s = 2$		$C/C_s = 10$	
SAIS	0 °C	50 °C	0 °C	50 °C
NaCl	55,4 MPa	65,4 MPa	184,5 MPa	219,0 MPa
Na₂SO₄	29,2 MPa	34,5 MPa	97,0 MPa	115,0 MPa

Fonte: Beichel (1997)

onde:

C/C_s - valor de sobresaturação da solução;

C - quantidade total de sal na solução, em g;

C_s - quantidade de sal até atingir o ponto de saturação, em g

Os Fenômenos da Umidade e Salinidade

Segundo Arendt (1995), os sais mais danosos às edificações são os cloretos, nitratos e sulfatos. Em termos do nível de degradação ocasionado pelos sais em argamassas de reboco, existe uma tabela, criada pelo Institut für Gebäudeanalyse und Sanierungsplanung - IGS, e de acordo com o próprio autor Arendt, a sua obtenção foi realizada através de processos práticos no referido Instituto. A mesma foi completada, nesta Universidade, com o acréscimo do nível IV - muito alta e encontra-se transcrita na Tabela 3, abaixo. Salienta-se que a partir do nível III, a velocidade de degradação das superfícies é muito acelerada e qualquer processo de recuperação com materiais convencionais tem uma vida útil em torno de 3 anos. No entanto, deve ser ressaltado ainda, que tal tabela não indica o grau de degradação com existência de dois ou mais sais simultaneamente, fato este comum em alguns edifícios históricos.

Numa análise dos valores constantes na tabela, torna-se visível a conclusão que os sais que mais provocam danos às argamassas são os cloretos, os sulfatos e os nitratos respectivamente, pois uma menor quantidade de sal proporciona um mesmo nível de contaminação. No entanto, nos trabalhos realizados no Laboratório de Tecnologia do Restauro com estes sais (item 6.4.2.1 e 6.4.2.2), apresentaram resultados divergentes, sendo o sulfato visivelmente o sal mais danoso, no período imediatamente posterior ao experimento (2 meses) Finalmente, existe um outro tipo de argamassa, utilizada para tratar alvenarias contaminadas por sais higroscópicos, denominada como *reboco de recuperação*, é um dos objetos principais deste estudo. Esta argamassa é indicada para ser utilizada em revestimentos onde o substrato está contaminado por sais e não se pode eliminar a fonte de contaminação. Este material possui algumas propriedades que possibilitam uma vida útil mais ampla para o revestimento. Posteriormente se estudarão com mais profundidade as suas características.

Os rebocos de recuperação são produtos normalmente industrializados, isto é, prontos para uso, necessitando apenas do acréscimo de água. Podem ser aplicados em três ou duas camadas: chapisco, emboço e reboco ou chapisco e massa única de emboço e reboco. Para cada uma das camadas, tendo uma composição específica para cada uma delas.

Os Fenômenos da Umidade e Salinidade

Estes rebocos de recuperação, que de acordo com informações do IGS, são compostos por: aglomerante, agregado miúdo, incorporador de ar, aditivo retentor de água, agregado leve, hidrofugante, carga e água buscam tirar partido dos altos graus de porosidade de sua constituição, que permitem o fluxo interno/externo da umidade gerada pelas variações das condições ambientais, possibilitando à parede “respirar” normalmente. Possuem hidrofugantes em sua formulação, o que dificulta a penetração de água em estado líquido, sem, no entanto, impedir a saída de vapor d’água. Ao contrário do emboço, o reboco de acabamento é bastante hidrófobo e com isto propicia uma proteção externa contra a água da chuva.

Os rebocos de recuperação são rebocos que buscam neutralizar os danos provocados pela umidade e salinidade das alvenarias afetadas, permanecendo como rebocos de acabamento final das alvenarias. Quando a umidade sai da parede em forma de vapor d’água, os sais cristalizados ficam retidos de forma inerte dentro dos grandes poros da camada de emboço, sem prejuízo, portanto, para o substrato.

Para sua aplicação, as superfícies de alvenaria deverão ser umedecidas previamente. O chapisco deve ser aplicado de maneira esparsa nessa alvenaria, não devendo cobrir mais de 50% de sua área, de forma a não criar uma barreira mais impermeável junto ao paramento da alvenaria. A segunda camada, o emboço é muito porosa. Nela, o sal cristalizado deverá ficar depositado, razão pela qual a dimensão desses poros deve ser significativa. Finalmente, camada de acabamento, ou o reboco propriamente dito, quando existir, deverá ser menos rugosa, pois como complemento somente terá a tinta.

A espessura mínima de aplicação deverá ser de 2 cm, e caso sejam necessárias espessuras maiores, devem ser aplicados em camadas sucessivas.

Algumas recomendações, não muito diferentes das argamassas utilizadas nos revestimentos normais, são necessárias para a sua aplicação. Limpar a superfície em que será aplicada a argamassa, umedecer a parede, utilizar-se a água de amassamento na quantidade indicada, não exceder muito o tempo de aplicação, evitar a evaporação prematura da água depois da aplicação do reboco.

Merece destaque, no entanto, que para a mistura dessa argamassa deve se utilizar de um misturador de forma que se possa incorporar ar na massa, que é um dos fundamentos desse tipo de material.

Tabela 3 - Grau de sobrecarga dos principais sais higroscópicos.

Grau de sobrecarga	Cloreto (%) *	Nitrato (%) *	Sulfato (%) *
0 - mínimo	0.000-0.004	0,000-0,016	0,000-0,024
I - pouco	0,005-0,030	0,017-0,050	0,025-0,077
II médio	0,031-0,090	0,051-0,160	0,078-0,240
III - alto	0,091-0,280	0,161-0,500	0,241-0,770
IV - muito alto	> 0,281	> 0,501	> 0,771

* - em relação a massa do material

Fonte: Adaptado de Arendt (1995)

4.3.2 Duas citações históricas dos sais nas construções

Os problemas decorrentes da existência de sais nos edifícios, não são tão recentes como se poderia imaginar. Destacam-se aqui, dois momentos importantes da história quando eles foram citados. Por ser um sal mais utilizado no dia-a-dia, supõe-se que o sal a que se referem os textos seja o cloreto de sódio.

No Capítulo 9 do Livro dos Juízes da Bíblia Sagrada encontra-se uma passagem que descreve a história do Rei Abimelec de Israel, em sua luta vitoriosa contra Gaal, na cidade de Síquem. No Versículo 45 está escrito: *“Abimelec combateu a cidade durante todo aquele dia e tomou-a. Matou toda a população, arrasou a cidade e semeou-a de sal.”*

Na história do Brasil, segundo BUENO (s. d.) no julgamento de Tiradentes, o grande Mártir brasileiro, os juízes sentenciaram: *“Pelo abominável intento de conduzir os povos da capitania de Minas a uma rebelião, os juízes deste tribunal condenam o réu a que, com baraço e pregão, seja conduzido pelas ruas públicas ao lugar da forca e nela morra a morte natural para sempre, e que depois de morto lhe seja cortada a cabeça e levada a Vila Rica, onde em lugar mais público dela será pregada, em poste alto até que o tempo a consuma; e o seu corpo será dividido em quatro quartos, e pregado em postes, pelo cami-*

Os Fenômenos da Umidade e Salinidade

*nho de Minas, onde o réu teve suas infames práticas, até que o tempo também os consuma; e declaram o réu infame, e seus filhos e netos, e os seus bens aplicam para o Fisco, e a casa em que vivia em Vila Rica será arrasada e **salgada**, para que nunca mais no chão se edifique, e no mesmo chão se erguerá um padrão, pelo qual se conserve a memória desse abominável réu”.*

Então, desde muito tempo já se conheciam os problemas gerados pelos sais nas edificações de alvenaria, embora de uma forma diferente, pois os sais eram utilizados com a intenção de provocar os respectivos danos.

O problema nos dias de hoje é que muitos destes sais surgem nos edifícios provenientes de várias fontes e as conseqüências desta presença, muitas vezes, é danosa para a edificação.

4.3.3 Fontes de contaminação

Várias são as fontes de origens aos sais. Eles existem na natureza, podem ser produzidos pelo homem nas atividades industriais ou até mesmo surgirem através da mistura de alguns materiais de construção.

Para facilitar a compreensão, as principais fontes de contaminação estão divididas em grandes grupos que passam a ser estudadas a seguir:

- a) material de construção;
- b) combinação inadequada de alguns materiais de construção;
- c) atmosfera;
- d) sais de degelo e adubos;
- e) solo ou no lençol freático.

4.3.3.1 Materiais de construção

Muitos materiais utilizados na construção de edifícios podem conter sais, alguns deles incorporados a sua composição química, enquanto outros simplesmente depositados em seus poros ou dissolvidos na água presente no interior dos mesmos. Também, a própria água consumida pelo ser humano e elemento essencial para a execução de qualquer tipo de edificação pode estar contaminada. Podem ser citados como exem-

Os Fenômenos da Umidade e Salinidade

plos, as pedras de construção, as areias, alguns tipos de cimentos, alguns aditivos utilizados nas argamassas e concretos e tijolos.

As areias retiradas das praias ou dos estuários dos rios contêm sais, muitas vezes com teores de até 6 % ,em relação a sua massa, de acordo com Metha e Monteiro (1994).

Como um possível supridor de cloretos na argamassa, o próprio cimento Portland contém em torno de 0,01 % da massa total, de sal. A água potável pode conter aproximadamente de 250 ppm de íons cloreto e numa relação água/cimento 0,4 esta água contribuirá com a mesma quantidade de íons com o próprio cimento.

Também os tijolos fabricados com argilas contaminadas por pirita (FeS_2) que, durante o cozimento, transformam-se em sulfato de um metal alcalino (potássio, sódio) ou metal alcalino terroso (cálcio, magnésio) podem ser uma fonte de contaminação dos edifícios. Muitos aditivos utilizados como aceleradores do tempo de pega nas argamassas têm como base os cloretos.

Apesar da existência desses sais nos materiais de construção, normalmente os seus níveis são num valor muito reduzido, não acarretando danos aos próprios materiais. No entanto, se forem várias as fontes de contaminação, as argamassas correm um sério risco de sofrerem uma degradação significativa.

4.3.3.2 Combinação inadequada de materiais de construção

Em alguns edifícios e, principalmente, em algumas restaurações a utilização de materiais incompatíveis com aqueles existentes na alvenaria e rebocos apresentam-se como responsáveis por problemas que poderão ocorrer posteriormente aos trabalhos de restauração ou consolidação executados. Dentre eles, destacam-se os aglomerantes hidráulicos, como o cimento Portland, cal hidráulica ou misturas cal-pozolana, segundo as razões apresentadas a seguir.

As reações químicas que têm originado degradação em alvenarias, como uma consequência da interação entre os materiais utilizados, de acordo com Collepardi (1990), são basicamente duas e ambas requerem a presença de sais de sulfato, acompanhados de muita umidade. Os produtos que podem se originar dessas reações são denominados de etringita - $\{\text{Ca}_6 [\text{Al}(\text{OH})_6]_2 \cdot 24\text{H}_2\text{O}\}$. $[(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ e taumasita - $\{\text{Ca}_6 [\text{Si}(\text{OH})_6]_2 \cdot 24\text{H}_2\text{O}\}$. $(\text{SO}_4)_2 \cdot (\text{CO}_3)_2$, dois bem conhecidos componentes da química do cimento Portland. Con-

Os Fenômenos da Umidade e Salinidade

tudo eles podem também se formar nos materiais de edifícios históricos construídos antes da descoberta do cimento Portland.

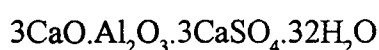
Estes dois componentes freqüentemente estão presentes em conjunto, através da formação inicial de etringita e posterior da taumasita. Além disso ambos têm a característica de iniciarem a sua formação em ambientes frios (0 a 10 °C) mais rapidamente que em condições quentes.

É importante enfatizar que a formação de etringita não é perigosa em si mesma, pois não começa a sua expansão se não estiver acompanhada da presença da cal. Metha e Monteiro (1994), provaram que quando ela tem no seu entorno a presença da cal, cristaliza-se em formas muito pequenas (alguns microns), com fibras mal crescidas, capazes de absorver água e causar o seu inchamento. Ao contrário, quando a cal está ausente, a etringita mostra fibras bem crescidas (cerca de 100 micros de comprimento) que não absorvem água e, conseqüentemente, não proporciona crescimento. São denominadas respectivamente como etringita coloidal e cristalizada.

Os compostos químicos podem ter dois tipos de fórmulas: fórmula estrutural e fórmula geral. Cada tipo relaciona aspectos estruturais e cristalográficos (isto é, mostra como os átomos estão co-orientados dentro do cristal padrão).

A fórmula estrutural da etringita e da taumasita, escritas acima, indica uma semelhança entre estes dois produtos. Isto explica a analogia entre o processo de formação de etringita e taumasita e os mecanismos de degradação.

No cristal padrão de taumasita, o íon silício ocupa o lugar do íon alumínio do cristal padrão da etringita. Contudo, devido a diferente carga elétrica do silício (Si^{4+}) em relação ao alumínio (Al^{3+}), adicionando o íon sulfatado (SO_4^{2-}), a taumasita precisa do íon carbonato (CO_3^{2-}) para neutralizar a carga elétrica positiva no cristal padrão. A fórmula geral informa de quais componentes os produtos são formados (aluminato de cálcio, sulfato de cálcio, silicato de cálcio, carbonato de cálcio), mas nada esclarece quanto aos seus aspectos cristalográficos. Contudo, são muito úteis porque são indicativos dos compostos que poderão originar os produtos finais. A fórmula geral da etringita é:



Os Fenômenos da Umidade e Salinidade

enquanto a fórmula geral da taumasita é:



Em todos estes casos, a capacidade hidráulica do aglomerante (devido a formação de silicato e aluminato de cálcio) que promove sua resistência à água das argamassas endurecidas é também responsável pela possibilidade de interação com o sulfato de cálcio, o qual pode estar presente nessas construções.

Para que haja o processo de reação, iniciado com a formação de etringita, as seguintes condições são necessárias, em ordem, para que a combinação possa acontecer:

- a) a presença de sulfato nas construções;
- b) a presença de aluminato hidratado de cálcio nas argamassas usadas nos trabalhos de restauração;
- c) a presença de umidade na construção.

De forma semelhante, o processo de reação que inicia a formação de taumasita, também precisa de três condições:

- a) a presença de sulfato nas construções;
- b) a presença de silicato hidratado de cálcio nas argamassas usadas nos trabalhos de restauração;
- c) a presença de umidade.

Quando argamassas hidráulicas baseadas em cimento, cal hidráulica ou simplesmente cal e pozolana forem usadas nos trabalhos de restauração, é possível a formação de silicato ou aluminato hidratado de cálcio. Portanto, se o sulfato de cálcio e umidade estiverem presentes, existe a possibilidade de formação de etringita e/ou taumasita, resultando numa deterioração na argamassa de restauração.

A formação de etringita pode ocorrer também quando os tradicionais aglomerantes aéreos (cal e gesso) forem usados. Para que isto ocorra, determinadas condições devem estar presentes na construção a ser restaurada. Por exemplo, pode formar etringita se for utilizada uma argamassa à base de cal em restaurações onde os materiais originais sejam pozolana e gesso ou quando os tijolos contiverem sais de sulfato ou ainda, quando a água salgada fluir através dos capilares desses materiais. Também pode ser formada etringita se o gesso, na argamassa de restauração, for usado nas edificações contendo aluminato de cálcio hidratado de argamassas baseadas em cal hidráulica ou na mistura de cal e pozolana.

Os Fenômenos da Umidade e Salinidade

Por outro lado, a formação de taumasita pode ocorrer quando forem usados como aglomerante, cal e gesso, porque estes compostos contém os elementos necessários para a sua formação, necessitando adicionalmente apenas de muita umidade.

As principais diferenças entre as duas reações, segundo Collepari (1990) são:

a - a formação de etringita causa expansão na argamassa mas, após o craquelamento, o material ficará estável, sadio e resistente. Ao contrário, a taumasita não é acompanhada por uma expansão significativa, mas após a sua formação, a argamassa torna-se inconsistente e sem resistência, provocando a sua desagregação, particularmente na presença de água;

b - a etringita forma-se mais rapidamente que a taumasita, portanto a presença de taumasita é mais freqüentemente precedida pela formação de etringita. A taumasita pode formar-se em torno de dez dias ou até alguns anos, dependendo das condições ambientais (temperatura, umidade, etc.);

c - embora baixas temperaturas favoreçam as formações, em ambos os processos, em climas frios a formação de taumasita é especialmente acelerada. As condições termohigrométricas ótimas para que aconteça a formação de taumasita são de 90 % de URA e temperatura entre 0 e 5 °C.

4.3.3.3 Na atmosfera

Todos os combustíveis, especialmente os gases e as madeiras, contém enxofre, que ao sofrerem um processo de combustão, geram o dióxido de enxofre (SO_2). Na atmosfera, parte deste dióxido é oxidada, transformando-se em trióxido de enxofre (SO_3). No entanto, uma outra porção entra em contato com a água presente na atmosfera formando o ácido sulfúrico (H_2SO_4). Este ácido, por ser muito reativo, ataca especialmente os carbonatos (CaCO_3) das argamassas, das pinturas à base de cal e de algumas pedras naturais, formando o sulfato de cálcio (gesso). Quando no exterior das paredes, forma uma camada que pode desaparecer por dissolução. Quando no interior, pode hidratar-se gerando um aumento de volume de 32%, segundo Buergo e Limón (1994), provocando descascamentos e perdas de material.

Os Fenômenos da Umidade e Salinidade

Também, segundo Metha e Monteiro (1994), próximo ao mar, o ar contém cloretos que podem ser transportados pelos ventos e percorrerem enormes distâncias, tendo já se observado casos de transporte por 2 km, dependendo da intensidade do vento e da topografia do terreno. A configuração da edificação também influencia o movimento dos sais transportados pelo ar e os redemoinhos podem fazer com que estes sais alcancem as faces das fachadas opostas ao mar.

4.3.3.4 No solo ou no lençol freático

As águas salobras contêm cloretos e sulfatos. A água não é prejudicial quando o teor de cloreto e de sulfato não ultrapassarem a 500 ppm (partes por milhão que é equivalente a mg/kg) e 1000 ppm, respectivamente.

De acordo com Mehta e Monteiro (1994), a água do mar tem uma salinidade total de cerca de 3,50 % (oceano Atlântico 3,60 %), tendo como íons principais os cloretos com 2,00 % e os sulfatos com 0,28%. Dentre os sais dissolvidos, 78 % são NaCl ; 15% de MgCl_2 e MgSO_4 .

Embora raramente se construa em locais onde haja ação direta da água do mar, deve ser lembrado que muitas obras são executadas sobre aterros em regiões que, no passado, eram mar. E assim, toda esta concentração de salinidade fica depositada no solo que, aos poucos, subirá por capilaridade às fundações da edificação e, posteriormente, para as paredes.

Também deve ser mencionado que podem ingressar na edificação cloretos provenientes de decomposição de materiais orgânicos contendo cloro. Forma-se ácido hipocloroso que se deposita na superfície da parede e podem, posteriormente, reagir com os íons de cálcio que existem nas águas dos poros das argamassas.

O sulfatos nas águas freáticas normalmente têm origem animal, mas eles também podem ser originados de fertilizantes ou de efluentes industriais.

Os nitratos surgem a partir dos excrementos animais, principalmente na urina, em forma de nitritos que posteriormente se transformam em nitratos.

Os Fenômenos da Umidade e Salinidade

4.3.3.5 Sais de degelo e adubos

Embora não sejam aplicados no Brasil, em função do seu clima, algumas cidades onde existe o acúmulo de neve, utilizam sais para acelerar o processo de liquefação do gelo. Estes sais, dissolvem-se na água e, muitas vezes, parte deles penetra no solo próximo às edificações, contaminando, inicialmente, o lençol freático e depois, as próprias paredes. No entanto, alguns países, inclusive a Alemanha, já proibiram este procedimento. Também, na agricultura, a utilização de adubos, muitos deles com sais de sulfato, poderá provocar, no futuro, problemas de contaminação nas edificações a serem construídas uma vez que estas substâncias ficarão retidas no solo, impregnando-os.

4.4 Os sais de sulfato

Pesquisadores têm usado rotineiramente soluções de sulfato de sódio no desenvolvimento de testes de deterioração acelerada para simular ou reproduzir condições de decadência e danos em materiais porosos, numa grande variedade de ambientes. Este sal é tipicamente selecionado por duas razões: primeiro, porque ele um dos que mais ocorre nos diversos ambientes e, segundo, é altamente destrutivo.

Como citado anteriormente, a cristalização de sais solúveis nos poros dos materiais de construção tem sido reconhecida como um importante processo de deterioração, contribuindo para a desagregação de alvenarias e rebocos nos edifícios, através da deterioração principalmente das argamassas, em condições ambientais normais. O sulfato de sódio é o responsável por significantes danos nos materiais de construção mais porosos, os quais são aparentemente causados pela alta pressão gerada nos fenômenos de cristalização e de hidratação.

De acordo com Navarro et al. (2000), o sulfato de sódio inclui duas fases estáveis. A thenardita (Na_2SO_4) é a fase anidra e precipita-se diretamente da solução, numa temperatura acima de 32,4 °C. Abaixo desta temperatura, a fase estável é a mirabilita ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), a qual rapidamente desidrata-se numa umidade relativa abaixo de 71%, a 20 °C, para formar thenardita. A thenardita será reidratada para mirabilita se a umidade ascender de 71%. O sulfato de sódio heptahidratado ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) tem sido descrito

Os Fenômenos da Umidade e Salinidade

como precipitação na temperatura abaixo do ponto de transição entre a mirabilita e a thenardita, todavia, esta fase é metaestável e não tem sido claramente identificável na natureza.

Em condições naturais, os processos de cristalização/dissolução periódicas e/ou de hidratação/desidratação são típicos, com a alternância de ciclos de umidificação/secagem devido a chuvas ou condensação. Os cristais de sulfato de sódio nos materiais porosos podem precipitar originalmente como thenardita ou numa mistura de mirabilita com thenardita, dependendo das condições ambientais e das características do sistema poroso. Mais tarde a mirabilita pode desidratar resultando em formação de thenardita. Como o acesso da água volta à parede, a thenardita pode dissolver-se, formando uma solução saturada, seguida de evaporação e finalmente precipitar sozinha ou com a mirabilita. Neste caso, somente a pressão de cristalização (sem pressão de hidratação) será a responsável pelos danos nos materiais.

Embora a maior parte dos autores atribua quase todos os danos para a hidratação do sulfato de sódio dentro de um material poroso (pressão de hidratação), alguns estudos mostraram que a cristalização da thenardita pode ser responsável por danos ainda maiores, segundo Navarro et al. (2000).

Também, a presença de poros muito pequenos (microporos) induz a altas taxas de supersaturação da solução de sulfato de sódio antes de ocorrer a cristalização. Altas taxas de supersaturação resultam em alta pressão de cristalização e, conseqüentemente, significantes danos para os respectivos materiais.

4.5 Considerações finais

A umidade e a salinidade são dois importantes fenômenos que, quando simultâneos, provocam grande deterioração nas argamassas. No entanto, deve ser ressaltado, que se não houver a presença da água, seja no estado líquido ou gasoso, os sais não oferecerão problemas patológicos aos revestimentos dos edifícios. A incorporação da umidade a rede cristalina dos sais é que proporciona o crescimento das suas moléculas e a conseqüente desagregação da massa. Por esta razão é que se deve identificar a sua origem com precisão, para uma possível ação de recuperação patológica do edifício.

Os Fenômenos da Umidade e Salinidade

Quanto aos sais propriamente ditos, ainda são poucos os estudos existentes, e por consequência, a divulgação de serem as causas de vários danos nas argamassas é pouco difundida, o que leva, muitas vezes, a registrar-se a umidade como elemento responsável por muitas anomalias. Assim, as soluções apresentadas nem sempre são as mais eficazes para eliminarem definitivamente o problema existente.

Para uma melhor visualização deste contexto de umidade e salinidade, o próximo capítulo contém elementos que contemplam estes fenômenos, diagnosticados em trabalhos práticos em alguns edifícios históricos, como forma de aproximar os elementos teóricos aqui referenciados, com realidade do patrimônio edificado da região.

5 ALGUNS EDIFÍCIOS HISTÓRICOS ESTUDADOS

5.1 Generalidades

Muitos edifícios históricos, devido as suas características construtivas já citadas anteriormente apresentam danos decorrentes dos fenômenos de umidade e salinidade. Contudo, muitas vezes as causas não são convenientemente identificadas, quer seja pela falta de um conhecimento maior sobre estes fenômenos ou até mesmo por diagnósticos mal elaborados. Consequentemente, as soluções mais corretas deixam de ser aplicadas, ocasionando o retorno dos danos, após um curto período de tempo. Em outros casos, embora os diagnósticos seja efetuado corretamente, a solução não é executada, principalmente pela falta de uma alternativa viável, tanto do ponto de vista técnico com também financeiro.

Em termos reais, na recuperação dos imóveis tombados nesta região, sob a responsabilidade do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN/SC, embora algumas vezes tenha a preocupação em identificar a presença de sais em edifícios, a dificuldade da definição de uma solução mais eficaz, tem limitado sua recuperação realizando-se apenas a substituição dos rebocos, alterando-se o tipo de aglomerante utilizado na argamassa. As argamassas de cimento, cal e areia são substituídas por cal e areia, sendo que em algumas situações a cal deve ser extinta na própria obra.

No âmbito estadual, as obras de restauração estão sob a fiscalização da Diretoria de Patrimônio da Fundação Catarinense de Cultura. Este setor, devido a carência de uma estrutura mais ampla, conta, muitas vezes, com o apoio das prefeituras municipais. Tal situação, implica num controle reduzido das obras de restauração. Embora haja a preocupação com os problemas decorrentes da salinidade, e em alguns casos, apesar de diagnosticada a existência de salinidade, nenhuma medida diferente acaba sendo, limitando-se a mesma substituição de reboco, executada pelo IPHAN/SC.

Situação semelhante existe no Município de Florianópolis, onde a Divisão de Patrimônio do Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis, apesar de possuir um território mais restrito, também procede de modo semelhante aos órgãos federal e estadual.

Alguns Edifícios Históricos Estudados

Nos próprios congressos que se tem participado, alguns trabalhos de restauração têm sido citados, mas pouquíssimos fazem uma avaliação da salinidade. Quando muito, referem-se a problemas de umidade, embora, muitas vezes, aparentemente a causa das anomalias existentes possa ser a própria salinidade.

Em pesquisa recente, cujos resultados encontram-se em Nappi (1998), foram avaliados 17 edifícios históricos, sendo que 13 eram igrejas tombadas ou em processo de tombamento pela Fundação Catarinense de Cultura - FCC, quanto a danos provenientes por umidade e salinidade. Como resultado 14 apresentaram, comprovadamente, problemas de salinidade enquanto nos outros 3 não foi possível um diagnóstico, pois tinham passado por recentes processos de renovação da sua pintura.

Alguns destes edifícios tiveram um diagnóstico mais completo, em função de solicitação especial de suas administrações, principais responsáveis pela manutenção destas edificações e tinham como meta, a realização de possíveis restaurações. Algumas delas, devido a disponibilidade de recursos, realizaram estudos mais aprofundados, enquanto outras apenas efetuaram alguns ensaios laboratoriais das argamassas de reboco.

A seguir, são apresentados alguns elementos de quatro edifícios, dentre aqueles avaliados, escolhidos mais em função da variabilidade e da profundidade dos resultados apresentados, do que de sua importância histórica para o contexto da cidade. Inicialmente faz-se um breve resumo histórico da edificação, seguido dos trabalhos ali realizados e, culmina-se com a análise e as principais conclusões obtidas. São eles:

- Fortaleza de Santa Cruz de Anhatomirim;
- Palácio Cruz e Sousa;
- Capela do Menino Deus;
- Prédio da Alfândega.

5.2 Fortaleza de Santa Cruz da Ilha de Anhatomirim

Os trabalhos realizados nesta Fortaleza não tinham como objetivo restaurar as edificações ali existentes. Devido a sua posição geográfica, reunia condições técnicas ideais para o desenvolvimento das pesquisas de umidade e salinidade, dispondo de superfícies livres para testes por um período de tempo relativamente longo. Esses elementos fizeram com

Alguns Edifícios Históricos Estudados

que Anhatomirim se transformasse no principal objeto da pesquisa, que contou também com a participação do Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN/SC e IPHAN/RS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Fundação Catarinense de Cultura, como órgão estadual e Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis, em conjunto com o Governo da Alemanha, por intermédio do Instituto de Análise e Planejamento de Recuperação de Edifícios - IGS, de Munique.

5.2.1 Histórico

A Fortaleza de Santa Cruz (Fotografia 3) está localizada na Ilha de Anhatomirim no Município de Governador Celso Ramos, próximo à Ilha de Santa Catarina, tendo a sua construção iniciada em 1739 e concluída, aproximadamente, em 1744.



Fotografia 3 - Vista da Fortaleza de S^{ta} Cruz de Anhatomirim

Embora tenha sido tombada como Monumento Histórico em 1938, a sua restauração começou somente no início dos anos 70 e a quase totalidade de seus edifícios recuperados somente foi concluída no final da década de 80. Hoje é gerenciada pela Universidade Federal de Santa Catarina que desenvolve na ilha atividades de pesquisa, turismo, cultura e extensão. Dentre os vários edifícios existentes, o quartel da tropa foi o selecionado para o desenvolvimento dos trabalhos. Suas paredes são em alvenaria de pedra com argamassa e revesti-

Alguns Edifícios Históricos Estudados

mento constituídos por uma mistura de cal de conchas marítimas, saibro e areia do mar. As arcadas são de tijolos. O piso térreo é em chão batido e o segundo pavimento é formado por barrotes e assoalho de madeira. A estrutura de cobertura é do tipo caibro armado, com linhas altas de atirantamento, sem terço de cumeeira e sem forro. A cobertura é com telhas cerâmicas do tipo capa e canal e beiral livre com cimalha e cornija.

5.2.2 Trabalhos realizados

A partir de maio de 1994 foram iniciados os experimentos, tanto nas paredes internas como externas do quartel da tropa, cuja escolha se deu em função dos vários problemas evidentes de salinidade e umidade presentes na construção, bem como ao fato do imóvel estar sem uso definido e, portanto, disponível para observação por um tempo relativamente longo.

Assim, foram realizados três pesquisas: rebocos de recuperação, processo de dessalinização por eletrólise e tintas minerais, que embora não sejam todos específicos do conteúdo desta tese, estão diretamente ligados ao seu tema principal, a salinização.

5.2.2.1 Rebocos de recuperação

Após a seleção das paredes, através de uma verificação visual, principalmente em relação a umidade e orientação solar, para os testes de rebocos, foram coletadas amostras para determinadas análises. Posteriormente foram preparadas as superfícies, delimitando-se áreas de 2 metros de largura por 2 metros de altura. Foram aplicados em 5 locais, sob ambientes distintos, um total de 7 tipos de rebocos diferentes, sendo 3, estrangeiros (2 alemães e 1 holandês) e 4 nacionais.

As duas argamassas para reboco fabricadas na Alemanha foram aplicadas em três camadas (chapisco, emboço e reboco), necessitando apenas da adição de água.

A argamassa procedente da Holanda foi aplicada em uma única camada, logo após a sua mistura com a água.

Uma empresa brasileira, localizada em São Paulo, produziu, exclusivamente para os teste de resistência aos sais realizados nessa fortaleza, uma argamassa cuja aplicação também foi em uma única camada.

Alguns Edifícios Históricos Estudados

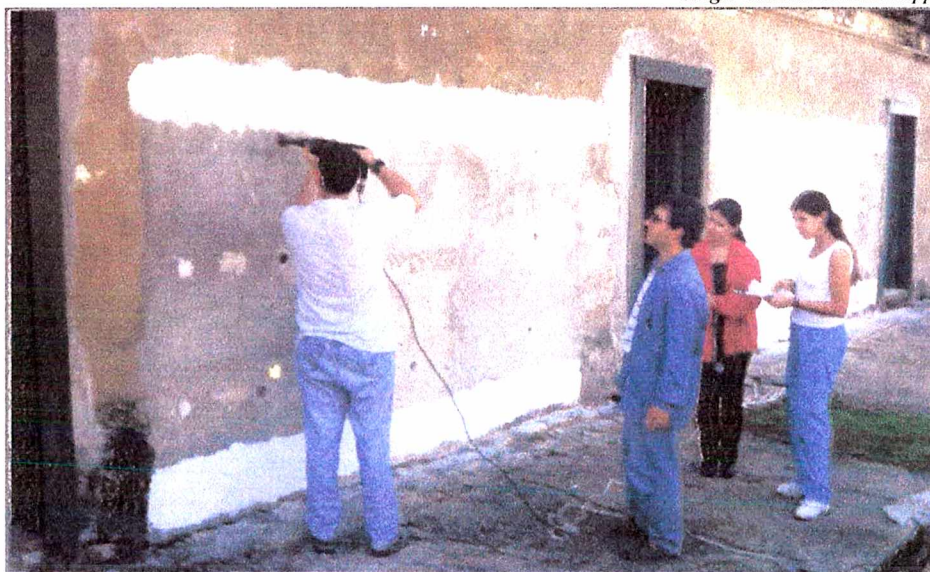
As demais argamassas testadas não tinham características de resistência aos sais e foram aplicadas para que pudesse avaliar o seu comportamento diante de um ambiente potencialmente agressivo. Uma argamassa era pré-fabricada, vendida comercialmente, com cal e areia média na proporção 1 : 7, adicionando-se 17 % de cimento Portland, tipo CP IV 32 antes da sua aplicação na respectiva parede. Outra foi a utilizada normalmente nas edificações no traço 1:2:8, de cimento, cal e areia e, finalmente, a argamassa para reboco mais utilizada em edifícios antigos, composta de cal e areia, no traço 1: 3.

Estes rebocos foram avaliados periodicamente, durante 3 anos, principalmente no que se refere aos níveis de umidade e salinidade.

Procedeu-se uma primeira avaliação técnica, começando com uma inspeção visual de todos os rebocos em análise, oportunidade em que ficou comprovado que estavam em perfeito estado. Posteriormente iniciou-se o processo de coleta de corpos de prova, retirando-se seis amostras de cada tipo de reboco, através da broca tipo "copo", à alturas de 80 cm, 120 cm e 180 cm, em 3 profundidades diferentes (0; 1,5 e 3,0 cm) que foram enviadas para as respectivas análises de umidade e salinidade.

Este processo se repetiu em 1996, 1997 e 1998, sendo realizada, neste último período, uma avaliação global dos resultados. A Fotografia 4 mostra uma das coletas de amostras de uma das paredes estudadas.

Sérgio Castello Branco Nappi



Fotografia 4 - Vista de uma das paredes com testes de rebocos na Fortaleza de Santa Cruz, na ilha de Anhatomirim.

Alguns Edifícios Históricos Estudados

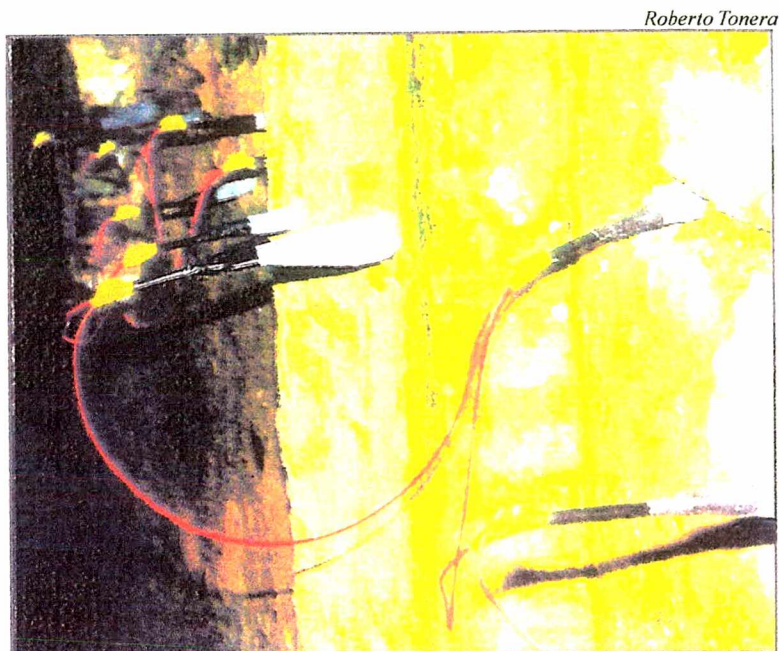
A avaliação foi realizada pelos técnicos brasileiros e estrangeiros integrantes do projeto. Após uma inspeção visual de todos os rebocos foi verificado que estavam em bom estado. Posteriormente, analisou-se com mais detalhes cada uma das superfícies, observando os seguintes aspectos: presença de pequenas fissuras; manchas; eflorescências salinas; presença de microorganismos; resistência a abrasão; falta de aderência; aspecto visual e sinais de umidade. Estas características ponderadas nas proporções 3; 2; 1; 1; 3; 2; 2 e 1, respectivamente. Foram formados 3 grupos, sendo compostos pelos técnicos catarinenses, pelos gaúchos e pelos estrangeiros. Cada um dos grupos valorou cada aspecto com notas entre 1 e 4, correspondendo a muitos danos, danos médios, poucos danos, sem danos. Realizada a apuração das avaliações, os rebocos foram classificados e o melhor desempenho ficou com a argamassa Rajasil, de procedência holandesa.

O detalhamento de toda pesquisa encontra-se em Tonera (1997).

5.2.2.2 Processo de dessalinização por eletrólise

Também no Quartel da Tropa, no seu piso inferior, foram instalados 15 eletrodos (Fotografia 5), caracterizados como de acumulação de sais, em furos executados na face interior de uma das paredes, numa inclinação aproximada de 45° para baixo, a uma altura média de 2,00 m do piso interno. Instalou-se um sistema elétrico, com uma pequena central de 20 volts. Os eletrodos funcionavam como pólos positivos, enquanto na face externa dessa parede foram instalados, próximos ao solo, fios que atuariam como eletrodos negativos. A parede era molhada duas vezes por semana para possibilitar a transferência dos íons (sais) das paredes para estes elementos, ao mesmo tempo em que se verificava a amperagem no mostrador digital, na central de controle, para comprovar a transferência. Durante 15 meses foi monitorado o sistema. Após esse período, os eletrodos foram substituídos pois se mostravam saturados. Novamente foram monitorados por um ano. Também eram retiradas amostras para controle da salinidade.

Considerando-se que era apenas um teste deste sistema, pois não foi criada qualquer barreira para impedir a subida da água com sais do subsolo, os resultados foram positivos na medida que os eletrodos ficaram saturados de sais.



Fotografia 5 - Sistema de eletrodos testado na Fortaleza de Santa Cruz.

5.2.2.3 Tintas Minerais

Após os estudos sobre rebocos de recuperação, durante o período de três anos, iniciou-se o teste de tintas minerais sobre os mesmos.

Após a limpeza das superfícies foram aplicados três tipos diferentes de tintas sobre cada um dos 7 tipos de reboco existentes, conforme pode ser visto na Fotografia 6. Utilizou-se uma tinta à base de silicato, vendida comercialmente; uma tinta à base de cal industrializada também comercializada e uma tinta a base de cal, cujo processo de hidratação aconteceu na própria ilha de Anhatomirim, e que durante a sua confecção foi adicionado um pequeno percentual de resina acrílica.

Durante o processo de pintura, avaliou-se a sua facilidade de aplicação, principalmente em relação a ausência de respingos, cujo resultado mostrou uma melhor execução para tinta silicato, seguida da caiação industrializada e por último a caiação aditivada.

Aproximadamente 4 meses após a aplicação das tintas, foram retiradas amostras para verificação da umidade, num total de 81 (oitenta e uma), nos sete substratos diferentes, à duas alturas e duas profundidades distintas (Ver Fotografia 7). Este material foi levado ao laboratório onde foram avaliados os respectivos graus de umidade.

Alguns Edifícios Históricos Estudados

Sérgio Castello Branco Nappi

Fotografia 6 - Aspecto geral dos testes de pintura numa das paredes da Fortaleza de Santa Cruz

Berenice Pagani Nappi

Fotografia 7 - Coleta de amostras das tintas minerais aplicadas na Fortaleza.

Passados seis meses, nova avaliação foi realizada, observando-se, agora, aspectos visuais e coletando-se amostras para uma avaliação em laboratório. Os elementos estudados foram: aderência, perda de coloração, alteração das características superficiais e permeabilidade ao vapor d'água.

Alguns Edifícios Históricos Estudados

Depois de analisados os resultados (Nappi et al., 2000), em relação a um maior ou menor teor de umidade, num mesmo tipo de argamassa, o que representaria ser a tinta mais ou menos permeável, concluiu-se que o desempenho de todas as tintas foi muito bom, não se diferenciando de modo significativo entre si, em termos de qualidade.

5.2.3. Resultados Obtidos

Numa visão geral dos trabalhos realizados na Fortaleza de Santa Cruz e diretamente ligados aos fenômenos da salinização, pode ser destacado como resultado:

a) deve-se, antes de enviar amostras de rebocos para análise quantitativa de sais, realizar-se um exame simplificado de diagnóstico qualitativo de salinidade, através do qual, com apenas algumas soluções químicas devidamente proporcionadas (para cloreto - ácido nítrico e nitrato de prata; para sulfato - ácido clorídrico e cloreto de bário e para nitrato - ácido acético, reagente de Griess-Ilosvay e zinco em pó) pode-se verificar a existência de sais, e assim, somente enviar para o laboratório, amostras que comprovadamente tenham estes elementos, reduzindo-se assim, o custo do diagnóstico. Em termos práticos, das 453 verificações de salinidade realizadas no trabalho, 247 apresentaram ausência de sais ou no nível I que não proporciona danos imediatos às argamassas (Tabela 4). Também pode ser observado na referida Tabela, que o grau de sobrecarga (rever Tabela 3) em níveis preocupantes (III e IV), aconteceu mais nos cloretos, seguido pelos nitratos e sulfatos.

Tabela 4 - Resumo do grau de sobrecarga obtido nos ensaios na Fortaleza de Santa Cruz

Grau de sobrecarga	Cl	NO ₃	SO ₂	Total	%
0 - mínimo	29	87	40	156	35
I - baixo	40	11	40	91	20
II - médio	17	07	50	74	16
III - alto	27	15	21	63	14
IV - muito alto	38	31	0	69	15
	151	151	151	453	100

Alguns Edifícios Históricos Estudados

b) Os danos apresentados nas argamassas de reboco que não tinham qualquer elemento para combater a presença de sais foram visíveis, confirmando a necessidade de argamassas especiais, quando comprovada a existência de salinidade.

c) O sistema de dessalinização por eletrodos comprovadamente reduz os sais presentes nas alvenarias. Contudo deve ser ressaltado que, devido a sua dimensão, o orifício necessário para a sua instalação é significativo e este tratamento deve ser precedido de barreiras para inibir a continuada contaminação por sais do subsolo.

d) Todos os três tipos de tintas aplicadas nos vários tipos de reboco tiveram um ótimo desempenho à permeabilidade, mesmo com o alto grau de umidade presentes no interior das alvenarias. Quanto a perda de pigmentação, apenas aqueles rebocos específicos para paredes contaminadas apresentaram resultados satisfatórios, pois os demais apresentaram desagregação, prejudicando a aderência das tintas.

5.3 Palácio Cruz e Sousa

Este, provavelmente foi o primeiro trabalho no Estado de Santa Catarina com recursos significativos para a elaboração de um projeto global de restauração. Várias entidades participaram da sua elaboração, contando com a colaboração de consultores, em diversas áreas de atuação.

5.3.1 Histórico

Localizado à praça XV de novembro em Florianópolis (Fotografia 8), tombado pela Lei Estadual n.º 5846/80, é de propriedade do Governo do Estado de Santa Catarina. É provável que já estivesse habitado em 1760, embora os seus traços atuais tenham sido obtidos no período do governo Hercílio Luz, entre 1894 e 1898. Apresenta figuras alegóricas modeladas em cimento e areia. As linhas básicas da composição são marcadas por pilastras pintadas de branco, tendo na principal fachada, ao centro, frontão em curva com as armas do Estado. No interior, há iluminação zenital através de clarabóia.

Sérgio Castello Branco Nappi

Fotografia 8 - Visão geral do Palácio Cruz e Souza

Em função dos recursos disponíveis, seu projeto de restauração foi o mais abrangente. Apesar de se ter realizado um trabalho amplo, desde uma pesquisa histórica até testes de recuperação de pinturas, aqui somente se reportará aos trabalhos ligados às argamassas e pintura.

5.3.2 Trabalhos realizados

A elaboração deste projeto de restauração foi efetivamente iniciada em 1997, quando foram estabelecidas as premissas para o desenvolvimento dos trabalhos, embasados em princípios científicos e critérios técnicos de conservação e/ou restauração, no sentido de devolver ao edifício a sua integridade física, estética e histórica. Dentro dessa perspectiva, foram desenvolvidos vários subprojetos, dentre os quais destacam-se dois deles, por serem ligados ao tema de umidade e salinidade: o diagnóstico de umidade e salinidade e o de tintas para edifícios históricos.



Fotografia 9 - Local visivelmente deteriorado por sais em que foi realizado um teste com reboco de recuperação.

5.3.2.1 Diagnóstico de umidade e salinidade de rebocos

Após a definição de uma estratégia de coleta de amostras, o trabalho foi iniciado, com um ritmo de atividades compatível com as demais etapas do projeto global de restauração. Algumas dificuldades surgiram diante dos muitos imprevistos, principalmente pela falta de equipamentos adequados, os quais foram adquiridos com o passar do tempo, tanto para coleta quanto para as respectivas análises.

Na totalidade, foram coletadas 121 amostras, em 47 locais diferentes, tendo-se verificado

Alguns Edifícios Históricos Estudados

o grau de umidade em praticamente todas as amostras e, em 58 delas, os teores de salinidade. Todos os resultados encontram-se em Nappi (1998).

Em dois panos de paredes, sob a responsabilidade do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN/SC, executou-se, para testes, rebocos à base de cal, adicionado-se, num deles, pó de tijolo e no outro calcário moído.

Num processo paralelo, ao final do trabalho de diagnóstico, foi testado, numa área interna do edifício (Fotografia 9), onde comprovadamente existia a presença significativa de sais, um reboco de recuperação (características descritas no item 3.4.5). Nessa argamassa foram utilizados 372 gramas de cimento Portland Pozolânico - CP IV - 320; 3720 gramas de cal hidratada; 6700 gramas de areia sendo 15 % de diâmetro 1,2 mm, 50 % de diâmetro 0,6 mm e 35 % de diâmetro 0,3 mm; 1340 gramas de filler de granito; 1800 centímetros cúbicos de poliestireno expandido com diâmetro inferior a 1,2 mm; 23 gramas de hidroxietil celulose HEC e 67 gramas de estearato de cálcio.

Depois de 6 meses da aplicação, o resultado apresentava-se muito animador. Lamentavelmente, após este período, este reboco foi inadvertidamente retirado pelos operários que executavam as obras de restauração do Palácio, impossibilitando assim, uma avaliação mais profunda.

5.3.2.2 Tintas para edifícios históricos

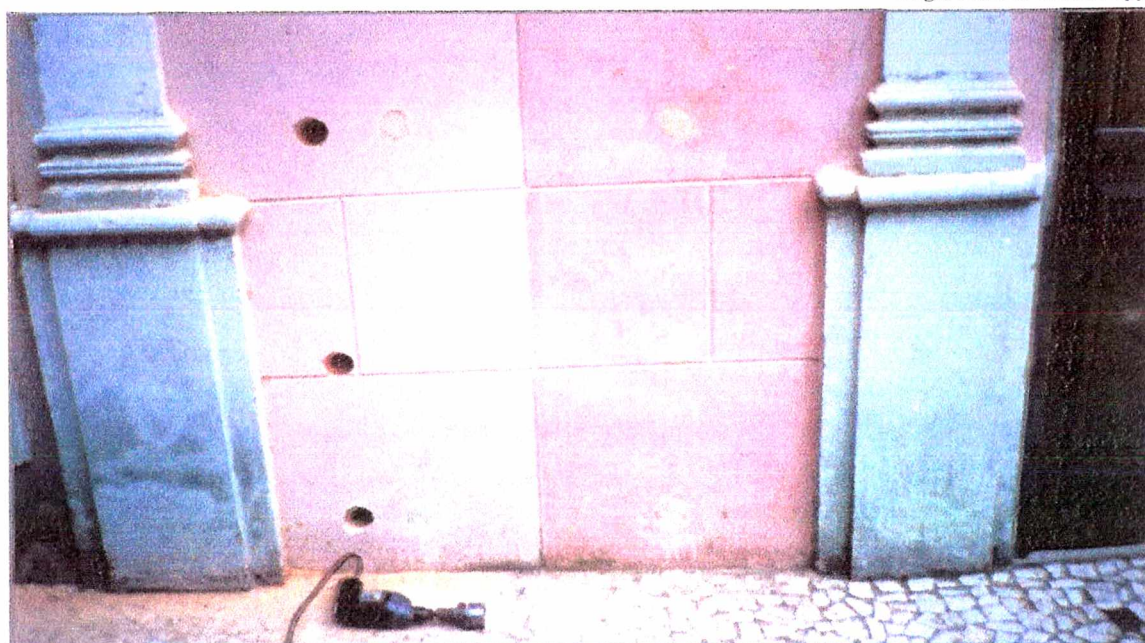
Após a coleta de várias amostras de rebocos e suas respectivas análises, constatou-se o alto índice de umidade no interior das paredes, em função da grande espessura das mesmas. Outro fato agravante dessa situação, era o fato da pintura destas superfícies ter sido executada com tintas à base de resina acrílica, cujo filme não permite a evaporação de água ali existente. Na busca de uma solução para este problema, foram testados dois tipos de reboco, um deles composto por cal hidratada, pó de tijolo e areia e o outro por cal hidratada, pó calcário e areia, ambos no traço 1:1:2.

Nestes rebocos, sob a responsabilidade do IPHAN/SC, foram aplicados dois tipos de tintas, uma à base de silicato, vendida comercialmente (a mesma que foi aplicada na fortaleza de Santa Cruz na ilha de Anhatomirim) e outra pintura à base de cal, executada nos métodos tradicionais, ou seja, mistura de cal hidratada, água e corante.

Alguns Edifícios Históricos Estudados

Após um determinado período, com avaliações visuais sistemáticas, foram retiradas amostras para análises. Estas amostras, num total de 24, obtidas com a utilização de broca tipo “copo”, foram colhidas em duas profundidades e três alturas diferentes (Fotografia 10). Verificado o teor de umidade das referidas paredes, os resultados foram muito bons, principalmente quanto a redução da umidade no seu interior, tendo o desempenho dos dois tipos de tintas sido equivalentes (Nappi et al. (2000)).

Sérgio Castello Branco Nappi



Fotografia 10 - Aspecto geral dos testes de tintas numa das paredes do Palácio Cruz e Souza (lado esquerdo tinta à base de silicato e no direito, à base de cal)

5.3.3 Resultados Obtidos

a) Como já era de se esperar, o edifício do Palácio Cruz e Sousa, por ter sido construído sem sistema de impermeabilização em suas fundações, apresenta problemas críticos de umidade, aliados, em alguns pontos, aos problemas decorrentes da presença excessiva de sais higroscópicos. Tal problema é agravado por ter as suas paredes pintadas com tinta à base de resina acrílica, com um filme muito impermeável, favorecendo o surgimento dos problemas citados, em praticamente todas as paredes do seu pavimento térreo.

b) Quanto aos tipos de sais, nota-se uma presença constante de cloretos, como era

Alguns Edifícios Históricos Estudados

esperado, em função da proximidade com o mar. Na parede da fachada oeste, mais próximo a Rua Tenente Silveira, os níveis apresentaram-se muito acima das demais paredes, o que leva a crer que exista outra fonte de contaminação, provavelmente o subsolo. No que se refere aos nitratos, na parede mais ao norte da fachada leste, a quantidade deste sal chega a ser surpreendente (5,25 %). Estes níveis levam a pensar, que aquele ambiente já tenha sido ocupado por animais e que seus excrementos, principalmente a urina, tenha deixado grande quantidade de sais de nitrato e/ou nitrito no solo. Com o passar do tempo, estes sais migraram para as paredes através das águas do subsolo e estas por sua vez se transferiram para as paredes pelo fenômeno de capilaridade. Este fato aumenta a probabilidade de se confirmar que realmente este cômodo, conforme Souza (1981) era destinado a cavalaria quando da construção original do Palácio. Finalmente, os sais de sulfato, apresentam altas concentrações próximo aos consoles da cobertura, principalmente na fachada oeste, com uma visível desagregação das argamassas. Presume-se que a origem desses sais seja o interior do próprio Palácio, cujo forro dos salões próximos a esta área são de gesso e devido a falta de manutenção periódica do sistema de coleta das águas pluviais, sofreram freqüentes infiltrações da água das chuvas.

c) No que diz respeito às tintas, constatou-se que a pigmentação da tinta à base de silicato é bem superior aquela à base de cal, tanto pela sua cobertura, como também pela própria homogeneidade da cor. Quanto a capacidade de difusão do vapor d'água do interior das paredes para o seu exterior, pode-se dizer que o desempenho de ambas as tintas foram semelhantes. Deve ser ressaltado, no entanto, embora não tenha sido objeto do presente trabalho, que a existência de sais higroscópicos é danoso a qualquer tipo de tinta, estando a solução deste problema no tratamento adequado do substrato que receberá a tinta.

5.4 Capela do Menino Deus

A metodologia empregada no projeto de restauração desta edificação foi um pouco diferente da normal. Não foi realizado um projeto global de restauro e sim, a elaboração de diagnósticos isolados, seguido do respectivo registro escrito e fotográfico, culminando-se com a definição da solução e a realização da recuperação dos problemas. O elemento principal do restauro era o Retábulo do Senhor Jesus dos Passos. Cabe ressaltar, no entan-

Alguns Edifícios Históricos Estudados

to, que vários trabalhos foram realizados para a restauração da Capela como um todo. Interessam, no entanto, aqueles elementos ligados diretamente à umidade e salinidade.

5.4.1 Histórico

A Capela está localizada na Rua Menino Deus, no alto do morro, sendo integrante do Complexo do Hospital de Caridade (Fotografia 11). Obteve sua licença de construção em 1760, mas o início se deu em 1762 sendo concluída a Capela Mor e parte da Nave, em 1778, no *Campo da Boa Vista*. Este conjunto teve a iniciativa da, hoje Beata Joana de Gusmão, apoiada, num segundo período, pelos membros da Irmandade de Senhor Jesus dos Passos e com a participação do Irmão Joaquim. Em 1856 já recebia reformas, e em 1996, sofreu um lamentável incêndio.

5.4.2 Trabalhos realizados

Os trabalhos de restauração realizados na capela foram realizados em etapas. Depois de recuperada a cobertura da edificação, passou-se a recuperação dos retábulos, destacando-se o do Senhor Jesus dos Passos, ao mesmo tempo em que se trabalhava nas alvenarias e rebocos de toda a Capela.

O fato a ser destacado é a existência de sais, não somente na base de algumas das paredes, mas, de forma isolada, em duas paredes atrás do altar mor e do altar de Nossa Senhora Aparecida, a 2 metros do piso.

5.4.3 Resultados obtidos

Referindo-se apenas ao resultado de salinidade, destacam-se aqui os motivos que proporcionaram o surgimento de eflorescências salinas na parte situada atrás dos altares. Em ambos os casos, exatamente no mesmo local, na parte externa da parede existem falsas janelas, com peitoris. A conclusão mais lógica é que nesses locais, depois de chuvas, deve haver o acúmulo de água, que penetra no interior das alvenarias, proporcionando o surgimento dos sais.

Alguns Edifícios Históricos Estudados

Sérgio Castello Branco Nappi



Fotografia 11 - Vista geral da Capela do Menino Deus

5.5 Prédio da Alfândega

Nesta edificação, onde funciona o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional – IPHAN/SC, a restauração aconteceu em grande parte da edificação, mas nos reportaremos aqui apenas na coleta e análise de amostras de reboco.

5.5.1 Histórico

De propriedade do Governo do Estado, tombado através do Processo 914, Inscrição 454, livro Histórico, este edifício foi construído entre os anos de 1875 e 1877, no estilo neoclássico. Com bom equilíbrio de proporções é composto com três corpos de entablamento e platibandas. O corpo central de dois pavimentos com frontão

triangular encimado por fachada de janelas rasgadas, sacada e guarda corpo em ferro trabalhado. No pavimento térreo, piso de lajeado, portas centrais em arco pleno e dois óculos laterais. Nas alas esquerda e direita repetem-se as portas e óculos. O edifício, visto na Fotografia 12, foi restaurado entre os anos de 1977 e 1979 com o objetivo de ser utilizado como museu.

Sérgio Castello Branco Nappi



Fotografia 12 - Vista do prédio da Alfândega

5.5.2 Trabalhos realizados

Os trabalhos realizados neste edifício pelo próprio IPHAN/SC compreenderam principalmente a substituição de grande parte do reboco existente (confeccionado com argamassas de cimento, cal e areia) e a sua posterior pintura. Para o diagnóstico da situação de algumas paredes foram coletadas 24 amostras de rebocos e analisadas quanto ao teor de umidade (Laboratório de Tecnologia do Restauro) e salinidade (Laboratório de Análises do Departamento de Química da UFSC).

Os novos rebocos foram executados com cal virgem, queimada no próprio local, misturada com areia e pó calcário.

Alguns Edifícios Históricos Estudados

5.5.3 Resultados Obtidos

Dentro dos ensaios de salinidade, merece destaque o resultado de uma das paredes em que o índice de cloreto atingiu o elevado valor de 2,30 %, o que representaria, em torno de 4 kg de sal (caso fosse o cloreto de sódio) para cada 100 kg de reboco, mostrando uma situação enorme contaminação. Nesses locais, mesmo tendo-se executado um novo revestimento, os níveis de salinidade existentes logo contaminaram o novo reboco, prejudicando a sua pintura, realizada com tinta à base de cal, através da perda total de aderência.

5.6 Considerações finais

De maneira geral, os edifícios muito antigos, e em particular aqueles que foram erguidos antes da fabricação do cimento Portland, e neste particular objetos principais do presente trabalho, apresentam problemas críticos de umidade, aliados, em alguns pontos, aos problemas decorrentes da presença excessiva de alguns sais higroscópicos.

A umidade ascendente é muito comum nessas edificações históricas, pois possuem uma grande espessura nas suas paredes, as quais servem para vedação e sustentação simultaneamente e, por não possuírem qualquer tipo de impermeabilização, permitem a subida das águas provenientes do subsolo. A composição normal destas paredes é uma mistura de materiais argilosos, pedras e argamassas a base de saibro e cal de conchas, que favorece a esta ascensão da água, através do já citado fenômeno de capilaridade.

Deve ser ressaltado ainda, que a redução desta umidade, somente será possível se o tipo de tinta existente permitir a evaporação dessa água. Para tanto esta tinta deve ser de base mineral, sem formação de filme impermeabilizante à passagem de vapor, podendo ser a base de silicatos (cálcio ou potássio) ou a base de cal, cuja vida útil é inferior a anterior. Quanto a existência de sais higroscópicos, foi constatada a sua presença, de forma constante, nesses edifícios, sendo o responsável pela quase totalidade das anomalias encontradas nos revestimentos de reboco.

Uma das soluções para este problema, principalmente quando não é possível impedir a continuidade do acesso de água pelo interior das paredes é a confecção de uma argamassa, na qual são adicionados determinados aditivos, que possibilitarão uma vida útil maior

Alguns Edifícios Históricos Estudados

para o reboco. Este reboco, conhecido como *sanierputz* (reboco de saneamento) na Alemanha, foi denominado, após os trabalhos na Fortaleza de Santa Cruz, em Anhatomirim como *reboco de recuperação*, pois o termo saneamento não tem em nosso país, o mesmo significado que na Europa. As suas principais características e o seu desempenho, bem como a consequência da ação dos sais em tijolos e argamassas são apresentadas a seguir.

6 RESULTADOS OBTIDOS EM LABORATÓRIO

6.1 Considerações iniciais

A partir de 1997, com a criação do Laboratório de Tecnologia do Restauro do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, foram realizados experimentos com objetivo de melhor observar os fenômenos decorrentes da incorporação de sais e umidade em tijolos cerâmicos e argamassas.

As observações realizadas foram, na maioria das vezes, visuais, a olho nu ou em microscópio, com registro fotográfico e de vídeo, sendo parte delas, através da avaliação da alteração da massa e avaliações químicas qualitativas.

Assim, foram primeiramente observados os danos provocados pelos sais, em tijolos, posteriormente corpos de prova de argamassas e por, último em argamassas utilizadas como rebocos, aplicados em paredes construídas especialmente para estes ensaios.

6.2 Verificação dos danos provocados por sais higroscópicos em tijolos cerâmicos.

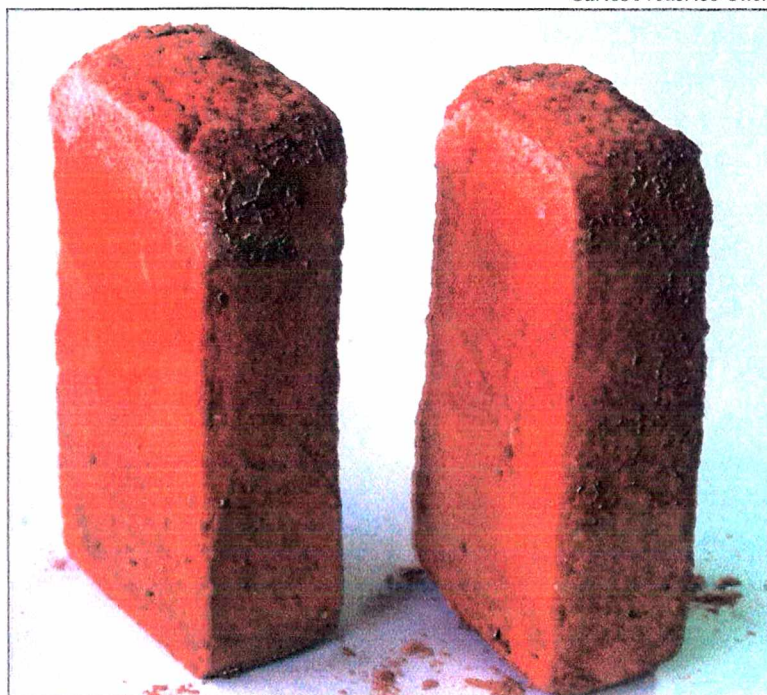
Os testes de danos proporcionados pelos sais foram simplificados. Trata-se de submeter os tijolos ao processo umidificação por capilaridade em água e, posteriormente, submetê-los a um processo de secagem em estufa. Dentre os vários testes realizados foram selecionados apenas dois deles, que passarão a ser descritos a seguir.

No primeiro, os tijolos, sem qualquer revestimento eram submetidos a um processo alternado de umidificação, por capilaridade, com água potável e água salgada e, posteriormente colocados numa estufa, com temperatura de 100 °C. Estes sais foram cloreto, nitrato e sulfato, todos de sódio, nas proporções indicadas pelo método alemão de teste de salinidade WTA (1991). Depois de um alguns dias, observou-se a desagregação das arestas superiores dos tijolos onde se utilizou água salgada, deixando-as arredondadas, em razão de existir ali uma maior concentração de sais e também de tensão. Nos tijolos onde foi utilizada água potável, nada aconteceu, conforme pode ser visto na Fotografia 13. Outros detalhes do tijolo com sais podem ser observados na Fotografia 14.

Resultados Obtidos em Laboratório

Sérgio Castello Branco Nappi

Fotografia 13 - Tijolos submetidos a umidificação por capilaridade com água potável (esquerda) e salgada (direita) e posterior secagem em estufa

Carlos Frederico Uller

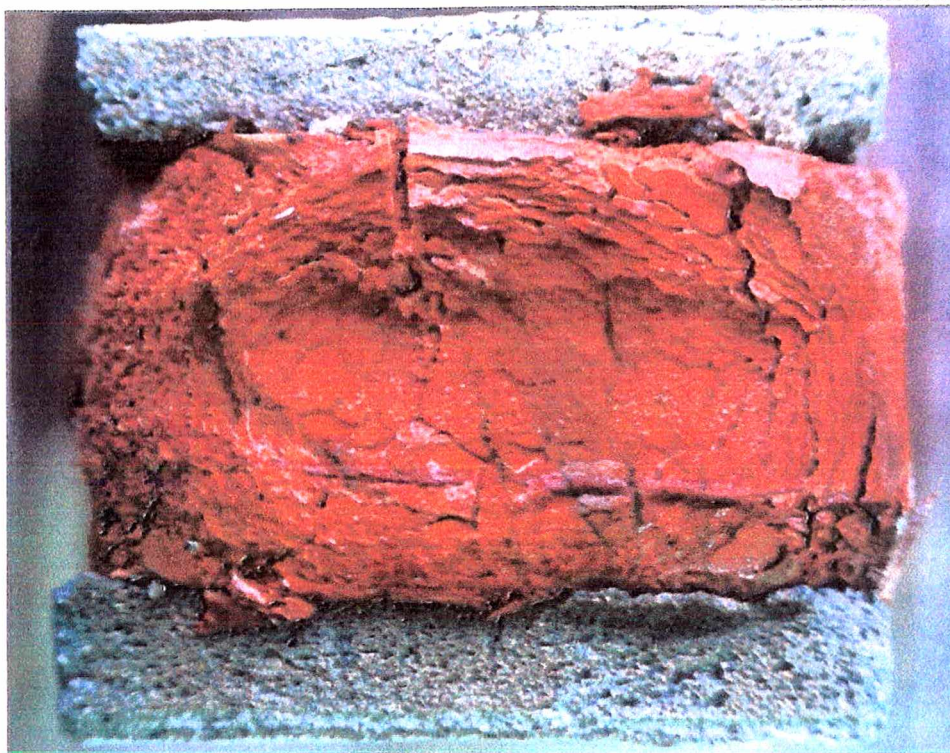
Fotografia 14 - Detalhe aproximado dos tijolos submetidos à umidificação por capilaridade com água salgada e posterior secagem em estufa.

Resultados Obtidos em Laboratório

Em outro teste, os tijolos foram revestidos com uma argamassa de cimento, cal e areia, adicionando-se também um tipo de impermeabilizante e, posteriormente receberam uma sobrecarga de sais. O processo de umidificação e secagem foi idêntico ao anterior.

Como resultado, ressalta-se que desagregação dos tijolos em seu topo mostrou fissuração em forma de elipses, conforme pode ser observado na Fotografia 15.

Carlos Frederico Uller



Fotografia 15 - Aspecto do topo de um dos tijolos revestidos, submetido à umidificação por capilaridade com água salgada e posterior secagem em estufa.

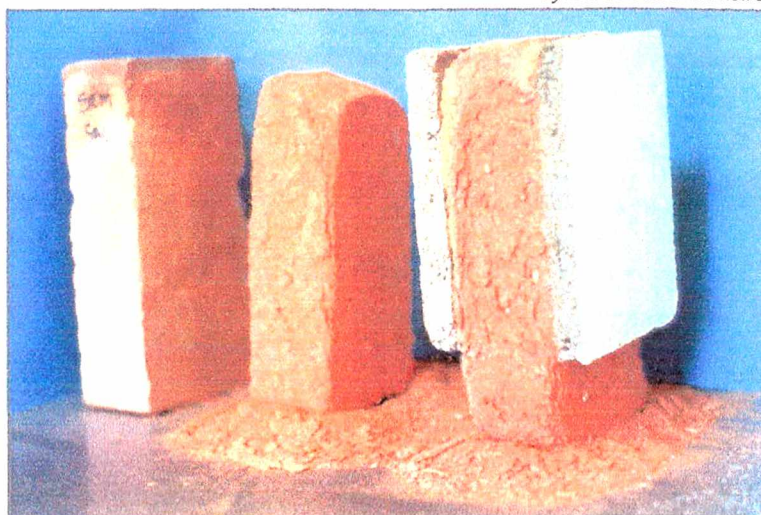
Nas laterais houve uma desagregação em forma de lamelas, caracterizando uma cristalização dos sais abaixo da superfície do tijolos, conforme pode ser visto na Fotografia 16.

Decorridos dois anos após esses testes, os tijolos, colocados em uma vitrine com aberturas para o ambiente de forma que o ar tenha contato com eles, continuam a deteriorar-se em razão da própria umidade relativa do ar e a conseqüente secagem através do aumento da temperatura, conforme pode ser observado na Fotografia 17.

Resultados Obtidos em Laboratório

Carlos Frederico Uller

Fotografia 16 - Aspecto da lateral de um dos tijolos revestidos, submetido à umidificação por capilaridade com água salgada e posterior secagem em estufa.

Cybele de Souza Carneiro

Fotografia 17 - Aspecto dos tijolos, submetidos à umidificação por capilaridade com água salgada e secagem em estufa, decorridos 2 anos dos testes iniciais.

Resultados Obtidos em Laboratório

6.3 Verificação do comportamento de argamassas com a mistura de aditivos.

Ao iniciarem estas atividades, tinha-se conhecimento, a partir de informações fornecidas pelos técnicos alemães que participaram do trabalho conjunto na Fortaleza de Santa Cruz, em Anhatomirim, citado anteriormente, dos principais elementos que compõem um *rebo-co de recuperação*, ou seja aglomerante, agregado miúdo, incorporador de ar, aditivo retentor de água, agregado leve, hidrofugante, carga e água hidrofugante, carga e água. O passo inicial então, foi conhecer melhor as propriedades desses componentes, em termos práticos, para posteriormente estudar uma composição de argamassa mais adequada para reduzir os danos provocados pelos sais nos rebocos. Para tanto, foi estudado isoladamente cada um deles, em diferentes composições de argamassas.

O estudo compreendeu, para cada corpo de prova, a avaliação da densidade da argamassa seca, absorção d'água por capilaridade, resistência a compressão e avaliação da coloração através da escala de cores de Munsell (1994).

Confeccionou-se então, num período de 6 meses, um total de 54 corpos de prova, com 10 diferentes composições de materiais, cujos resultados completos encontram-se em Nappi (1998). Os materiais utilizados foram:

Cimento Portland pozolânico - CP IV - 32 (aglomerante);
cal hidratada - CH III (aglomerante);
areia quartzosa com granulometria inferior a 1,2 mm (inerte);
poliestireno expandido em microesferas (agregado leve);
estearato de cálcio (hidrofugante);
hidroxietil celulose HEC (incorporador de ar e retentor de água) e
lignosulfonato de cálcio (incorporador de ar).

A seguir, discrimina-se as composições utilizadas.

Teste 1

Argamassas com 3 composições diferentes, sendo uma com cimento cal e areia, outra com cimento, areia, agregado leve, hidrofugante, incorporador de ar e retentor de água e, uma última, com cimento cal e areia, acrescentando-se agregado leve, hidrofugante, incorporador de ar e retentor de água.

Resultados Obtidos em Laboratório

Teste 2

Argamassa de cimento e areia, adicionando-se, na massa, hidrofugante em dez proporções diferentes.

Teste 3

Argamassa de cimento e areia com adição de agregado leve em quatro proporções diferenciadas.

Teste 4

Argamassa de cimento e areia com adição de um incorporador de ar, em quatro percentuais diferentes.

Teste 5

Argamassa de cimento e areia com adição de um retentor de água em quatro percentuais diferenciados.

Teste 6

Argamassa de cimento e areia com adição de hidrofugante, incorporador de ar, agregado leve e retentor de umidade, com duas composições diferentes.

Teste 7

Argamassas com duas composições diferentes, sendo uma de cal em pasta, calcário moído e areia e outra de cal em pasta, concha moída e areia, utilizadas como experiência na execução do reboco de uma parede do Projeto de Restauração do Palácio Cruz e Sousa.

Teste 8

Argamassa de cimento, cal e areia com adição de agregado leve, hidrofugante, incorporador de ar e retentor de água.

Teste 9

Argamassa de cimento, cal e areia com adição de agregado leve, hidrofugante e incorporador de ar.

Resultados Obtidos em Laboratório

Teste10

Com base na verificação dos resultados nos testes anteriormente citados, formulou-se uma argamassa com o objetivo de resistir de forma mais adequada a uma sobrecarga de sais higroscópicos. Para a sua composição foram utilizados 22 gramas de cimento, 88 gramas de cal hidratada, 330 gramas de areia, 90 centímetros cúbicos de poliestireno expandido com diâmetro inferior a 1,2 mm; 1,0 gramas de hidroxietil celulose HEC e 2,2 gramas de estearato de cálcio.

Esta argamassa passou a ser considerada como padrão do Laboratório de Tecnologia do Restauro para um reboco de recuperação.

Nos testes de sobrecarga de sais realizados no item 6.4.1 este material está sob a denominação de rebarq.

6.4 Verificação dos danos provocados por sais higroscópicos em argamassas.

Os elementos apresentados a seguir referem-se ao estudo de corpos de prova cilíndricos de argamassas, de composições diferentes, submetidos a um processo de umidificação por capilaridade, seguido de secagem em estufa à 100 °C.

Dentre os vários experimentos feitos, selecionou-se três deles. No primeiro, foram cinco tipos de argamassas, submetidos a umidificação com uma solução conjunta de cloreto, nitrato e sulfato, todos de sódio, conforme indicação do item 5.3.9 da WTA (1991), que são, respectivamente 35 g, 15 g e 5g para cada litro de água. Estas quantidades correspondem a 2,11 %, 1,09 % e 0,28 % dos íons cloreto nitrato e sulfato. No segundo, as argamassas tinham a mesma composição, à base de cimento, cal e areia, variando-se o tipo de sal utilizado, sendo o percentual idêntico para o cloreto, nitrato e sulfato, também de sódio. Finalmente, no terceiro, apenas modificou-se o tipo de argamassa, a qual foi à base de cal e areia, também imersos nas diferentes soluções salinas. Os principais resultados obtidos são apresentados a seguir.

Resultados Obtidos em Laboratório

6.4.1 Argamassas com composição diferenciada submetidas à sobrecarga conjunta de sais higroscópicos

O objetivo deste estudo era realizar uma comparação de degradação provocada pelos sais, em diferentes tipos de argamassas. Os testes foram iniciados a partir da confecção de cinco tipos diferentes de argamassas, normalmente utilizadas em reboco.

A primeira delas, à base de cal, no traço de 1:3 de cal hidratada e areia fina. Outra de cimento, cal hidratada e areia fina, no traço 1:2:8. Uma terceira, pré-misturada, produzida na Alemanha, de composição desconhecida e utilizada como emboço, nos experimentos da Fortaleza de Santa Cruz, na ilha de Anhatomirim. Mais uma, a qual obteve o melhor desempenho entre os rebocos aplicados na citada fortaleza e também mencionada como tendo ótimas características técnicas em Dias e Cunha (1997) e, finalmente, uma argamassa confeccionada no Laboratório de Tecnologia do Restauro (teste 10), a partir dos resultados de Anhatomirim, da indicação de alguns materiais fornecida por técnicos alemães para a composição de um reboco de recuperação e dos testes com argamassas realizados no próprio laboratório.

Os corpos de prova, em número de 3 para cada tipo de argamassa, sendo para o emboço que foram apenas 2, depois de confeccionados ficaram armazenados durante 45 dias para que se realizassem as principais reações químicas.

Decorrido este período, as amostras foram depositadas, em dois recipientes, por um período de 24 horas. Um deles contendo água com os citados sais (duas amostras de cada tipo de argamassa) num nível aproximado de 1 cm, em relação ao fundo do recipiente. Os sais dissolvidos nesta água eram nas concentrações recomendadas no item 5.3.9 da WTA (1991) ou seja, para cada litro de água, 35 g de NaCl, 05 g de NaSO₄ e 15 g de NaNO₃. No outro recipiente, continha água potável (uma amostra de cada tipo de reboco).

O Quadro 3 discrimina a relação dos Corpos de Prova - C. P., bem como a sua denominação, o tipo de água de imersão e onde deve ser aplicado o material nos revestimentos de um edifício.

Resultados Obtidos em Laboratório

Quadro 3 - Discriminação dos Corpos de Prova

Nº do C. P.	Denominação	Composição	Imersão	Aplicação
01	cal	cal e areia	água potável	Reboco
06 - 07	cal	cal e areia	água com sal	Reboco
02	comum	cimento, cal e areia	água potável	Reboco
08 - 09	comum	cimento, cal e areia	água com sal	Reboco
03	rebestr	desconhecida	água potável	Reboco
10 - 11	rebestr	desconhecida	água com sal	reboco
04	embestr	desconhecida	água potável	emboço
12	embestr	desconhecida	água com sal	emboço
05	rebarq	cim/cal/areia/aditivos	água potável	reboco
13 - 14	rebarq	cim/cal/areia/aditivos	água com sal	reboco

Após este período, os corpos de prova eram secados externamente e pesados, colocados em estufa a 100 °C, também por um período de 24 horas. Terminado o referido período, novamente os corpos de prova eram pesados, completando-se assim um ciclo. Periodicamente os mesmos eram avaliados, fotografados e/ou filmados, com objetivo de verificar-se o seu grau de desagregação, provocado pela incorporação, cristalização e hidratação dos sais solúveis. Este processo se repetiu por 10 vezes.

A Fotografia 18 mostra a aparência dos corpos de prova no oitavo ciclo de umidificação e secagem.

Sérgio Castello Branco Nappi



Fotografia 18 - Corpos de prova de composição diferente, submetidos à sobrecarga conjunta de sais, após 8 ciclos de umidificação e secagem.

Resultados Obtidos em Laboratório

Para uma análise da evolução de incorporação dos sais a estes corpos de prova, apresenta-se o Gráfico 1, que mostra o aumento de peso das amostras secas em estufa, contendo sais, ao longo dos ciclos de umidificação e secagem, ressaltando-se que os valores apresentados sempre são a média dos dois corpos de prova de cada tipo de argamassa.

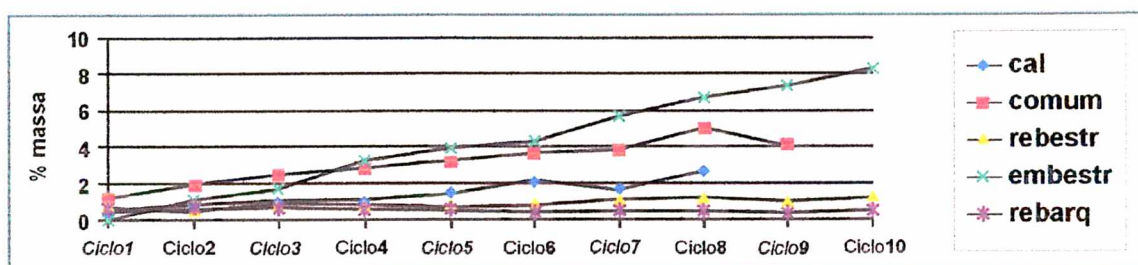


Gráfico 1 - Evolução do aumento de peso das amostras ao longo dos ciclos.

Em termos numéricos, a Tabela 5, mostrada a seguir, apresenta os valores numéricos finais obtidos nos testes. Salienta-se que estes valores referem-se ao décimo ciclo, exceto aqueles que não puderam ser avaliados no final do experimento, devido a desagregação proporcionada pelo próprio sal.

Os aumentos do peso seco, nos corpos de prova depositados no recipiente sem sal são resultantes da incorporação da água no processo de hidratação do cimento e/ou da reação com o gás carbônico da atmosfera, no processo de carbonatação da cal. Os valores da quantidade de sal citadas no quadro são resultantes dos aumentos de peso nos corpos em contato com água salgada, deduzidos dos valores dos corpos de prova secos, sem sal, anteriormente mencionados.

Deve ser observado, o alto percentual de água absorvido pelas argamassas de cimento, cal e areia, de cal e areia e pelo emboço estrangeiro, o que resultou, logicamente, num alto percentual de incorporação de sais nestes corpos de prova, uma vez que os sais são carreados para o interior das argamassas pela própria água.

Ressalta-se como importante nestes resultados, a grande deterioração sofrida pelas argamassas à base de cimento, cal e areia e somente de cal e areia (as mais utilizadas na prática), ocasionados pelos altos níveis de concentração de sal. No entanto, no emboço estrangeiro, onde este nível de concentração foi muito maior, não houve qualquer dano, pois este material é próprio para resistir à ação dos sais higroscópicos.

Resultados Obtidos em Laboratório

Tabela 5 - Incremento no peso e quantidade de sal absorvida pelos corpos de prova.

Ciclo - 10	Aumento peso úmido (%)	Aumento peso seco (%)		Quantidade de sal (%)
		sem sal	com sal	
cal	14.65	0.45	3.37 (1)	2.94 (1)
comum	17.28	0.60	8.86 (2)	8.30 (2)
recestr	2.24	0.35	0.78	0.43
embestr	34.27	1.25	15.60	14.35
recarq	1.59	0.38	0.59	0.21
(1) valor no ciclo 8		(2) valor no ciclo 9		

Também deve ser observado o bom desempenho do reboco confeccionado no Laboratório de Tecnologia do Restauro, colocando-o num mesmo nível que o reboco estrangeiro.

Por fim, complementa-se que ensaios químicos realizados no Laboratório de Análises comprovaram os valores de concentração de sais nos corpos de prova e mostrados no gráfico supra citado.

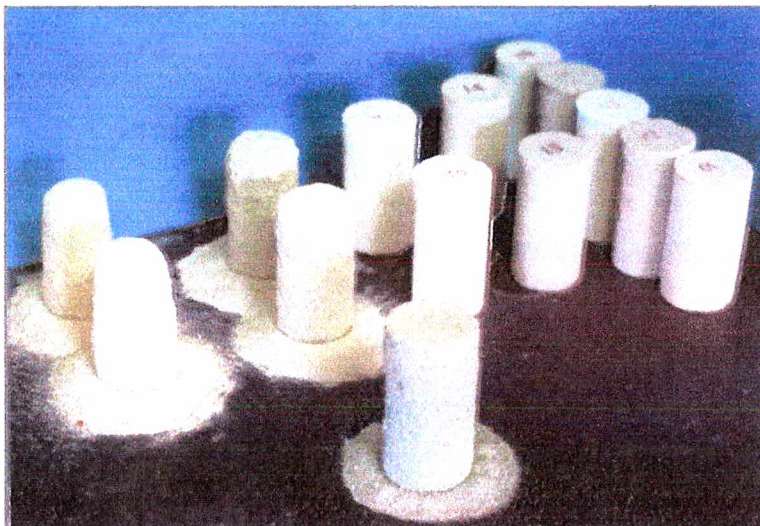
Mesmo após concluído este estudo, os corpos de prova encontram-se protegidos de uma circulação de ar mais intensa, através de uma vitrine de vidro, com aberturas para o ambiente. Passados 2 anos deste experimento, o processo de desagregação continua em razão da variação da umidade relativa do ar e da temperatura (Fotografia 19). Merece citação o alto grau de deterioração que vem sofrendo o emboço estrangeiro (no início dos testes não apresentava qualquer sinal de desagregação), em razão da existência de uma alta concentração de sais, comprovando, que mesmo em argamassas específicas para resistirem a ação dos sais, a sua presença em teores muito elevados, geram, após um determinado período de tempo, a desagregação da argamassa. Supõe-se que tais consequências seja resultante da presença de microfibras na composição dessa argamassa, pois ao mesmo tempo que propicia uma maior absorção de água, proporciona uma resistência mais alta a desagregação.

Resultados Obtidos em Laboratório

6.4.2 Argamassas com composição idênticas submetidas a sobrecarga separada de sais higroscópicos.

Outro tipo de experimento efetuado no Laboratório foi o ensaio de argamassas de mesma composição, submetidas a uma sobrecarga de cloreto, nitrato e sulfato, todos de sódio, separadamente. As argamassas foram com duas composições diferentes, sendo uma à base de cimento, cal e areia e outra somente de cal e areia.

Cybele de Souza Carneiro



Fotografia 19 - Continuação do processo de desagregação dos corpos de prova, após 2 anos dos testes iniciais.

6.4.2.1 Argamassa de cimento, cal e areia.

Esta argamassa foi confeccionada misturando-se os materiais no traço de 1:2:8, de cimento, cal hidratada e areia, cujos grãos possuíam o diâmetro inferior a 0,6 mm. Foram moldados 9 corpos de prova.

Após um período de cura, foram realizadas as pesagens dos corpos de prova, em ambiente natural e, posteriormente, em ciclos de 12 horas, alternando, a sua pesagem, primeiramente secos, após passarem pela estufa à 100 °C e úmido, através da absorção d'água, por capilaridade, com os respectivos sais. A Fotografia 20 mostra o aspecto geral de todos os corpos no terceiro ciclo. Salienta-se que após o quarto ciclo úmido o corpo de prova com

Resultados Obtidos em Laboratório

sais de sulfato, ilustrado na Fotografia 21, não pode mais ser avaliado quantitativamente. A Tabela 6, complementada pelo Gráfico 2 contém os resultados obtidos, em valores percentuais médios, após 10 ciclos de verificação.

Sérgio Castello Branco Nappi



Fotografia 20 - Visão geral de todos os corpos de prova à base de cimento, cal e areia, no terceiro ciclo de umidificação.

Cybele de Souza Carneiro



Fotografia 21 - Aparência dos corpos de prova à base de cimento, cal e areia, contaminado por sulfato de sódio, após quarto ciclo de umidificação.

Resultados Obtidos em Laboratório

Tabela 6 - Evolução dos aumentos percentuais de pesos, secos e úmidos, dos corpos de prova com cimento, cal e areia, após uma sobrecarga de sais higroscópicos.

Sais	Variação do peso seco (%)			Variação do peso úmido (%)		
Sais	Cloreto	Nitrato	Sulfato	Cloreto	Nitrato	Sulfato
Ciclo 1	0,26	0,25	0,32	22,43	22,38	22,52
Ciclo 2	0,80	0,79	0,92	22,62	22,63	22,99
Ciclo 3	1,44	1,39	1,64	22,76	22,43	24,07
Ciclo 4	2,31	1,99	2,32	23,02	23,02	26,81
Ciclo 5	2,90	2,60	*	23,43	23,54	*
Ciclo 6	3,77	2,90	*	23,91	24,13	*
Ciclo 7	4,08	3,45	*	24,99	24,53	*
Ciclo 8	3,78	3,74	*	24,56	25,00	*
Ciclo 9	4,96	4,59	*	24,83	25,58	*
Ciclo 10	5,21	4,74	*	25,10	26,03	*

* A desagregação não mais permitiu uma avaliação correta do peso do corpo de prova

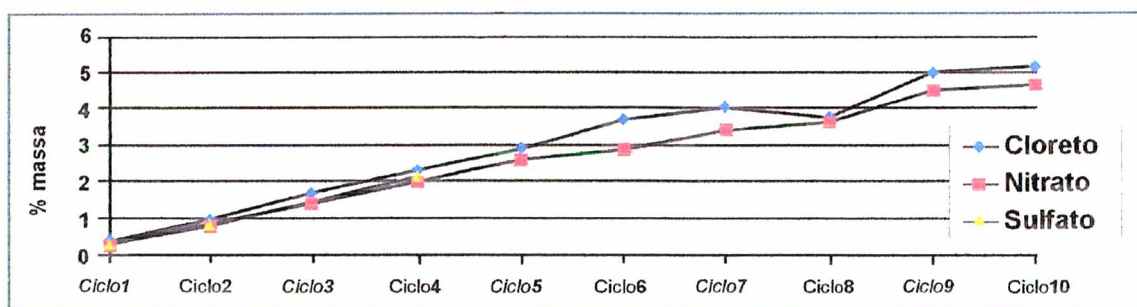


Gráfico 2 - Evolução dos aumentos percentuais do peso seco dos corpos de prova à base de cimento, cal e areia, após uma sobrecarga de sais higroscópicos.

Para confirmar que os danos ocorridos nos corpos de prova foram realmente causados pelos sais, foram efetuados os testes com Difração de Raios X - XRD. O Gráfico 3 mostra o difratograma do material existente no corpo de prova contaminado por apenas sulfato de sódio.

Resultados Obtidos em Laboratório

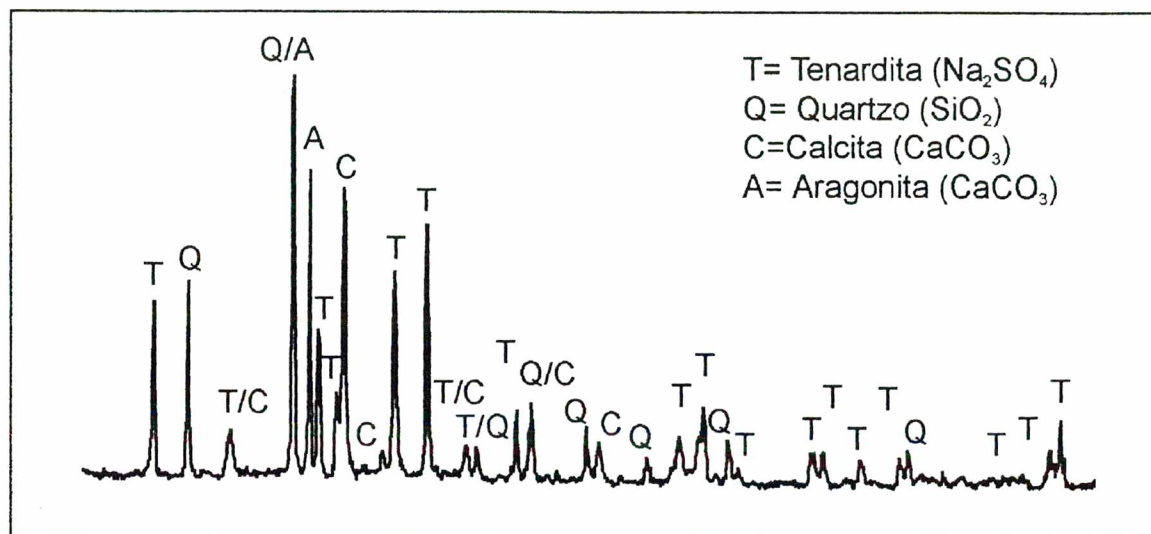


Gráfico 3 - Difratograma da amostra de argamassa composta por cimento, cal e areia e submetida a uma sobrecarga de sulfato de Sódio

Como pode ser verificado através da tabela, do quadro e das fotografias, sem sombra de dúvida, o sulfato de sódio é o sal mais danoso nestas argamassas, provocando uma desagregação considerável. O cloreto e o nitrato não se mostraram muito agressivos naquele momento. No entanto, depois de 2 anos, proporcionaram desagregação nos respectivos corpos de prova, num nível quase tão acentuado como aquela do sulfato.

6.4.2.2 Argamassa de cal e areia.

Continuando o estudo dos danos causados pela salinidade em argamassas, verificou-se quais as conseqüências destes sais nas argamassas à base de cal e areia.

Os materiais foram misturados num traço de 1:3, de cal hidratada e areia, cujos grãos possuíam o diâmetro inferior a 0,6 mm.

Após 31 dias da mistura e moldagem dos componentes, os 5 corpos de prova foram pesados em ambiente natural e, posteriormente, em ciclos de 12 horas, alternando-se, a pesagem seco, após passarem pela estufa à 100 °C e úmido através da absorção d'água com os já citados sais. A Tabela 7 mostra os resultados obtidos em valores percentuais médios, para os elementos secos e úmidos, respectivamente, destacando-se uma grande homogeneidade nos va-

Resultados Obtidos em Laboratório

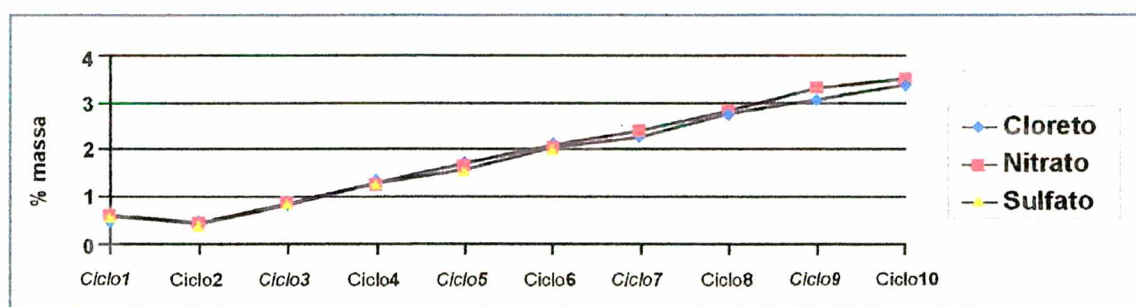
também, o Gráfico 4. O Gráfico 5 apresenta o difratograma do material proveniente dos corpos de prova com sulfato de sódio. Na Fotografia 22 visualiza-se o aspecto geral dos corpos. Salienta-se que após o sétimo ciclo seco o corpo de prova com sulfato, ilustrado na Fotografia 23, não pode mais ser avaliado quantitativamente.

Tabela 7 - Evolução dos aumentos percentuais de pesos, secos e úmidos, dos corpos de prova à base de cal e areia, após uma sobrecarga de sais higroscópicos.

Sais	Variação do peso seco (%)			Variação do peso úmido (%)		
Sais	Cloreto	Nitrato	Sulfato	Cloreto	Nitrato	Sulfato
Ciclo 1	0,63	0,63	0,59	13,64	13,49	13,54
Ciclo 2	0,44	0,47	0,41	14,18	14,18	14,04
Ciclo 3	0,89	0,89	0,82	14,60	14,60	14,43
Ciclo 4	1,30	1,30	1,23	15,01	15,01	14,89
Ciclo 5	1,68	1,66	1,60	15,60	15,60	16,12
Ciclo 6	2,07	2,05	2,01	15,43	15,40	16,45
Ciclo 7	2,31	2,37	2,35	16,43	16,47	*
Ciclo 8	2,74	2,79	*	17,52	17,63	*
Ciclo 9	3,05	3,28	*	17,76	18,13	*
Ciclo 10	3,37	3,44	*	18,77	19,31	*

** A desagregação não mais permitiu uma avaliação correta do peso do corpo de prova*

Gráfico 4 - Evolução dos aumentos percentuais do peso seco dos corpos de prova à base de cal e areia, após uma sobrecarga de sais higroscópicos.



Resultados Obtidos em Laboratório

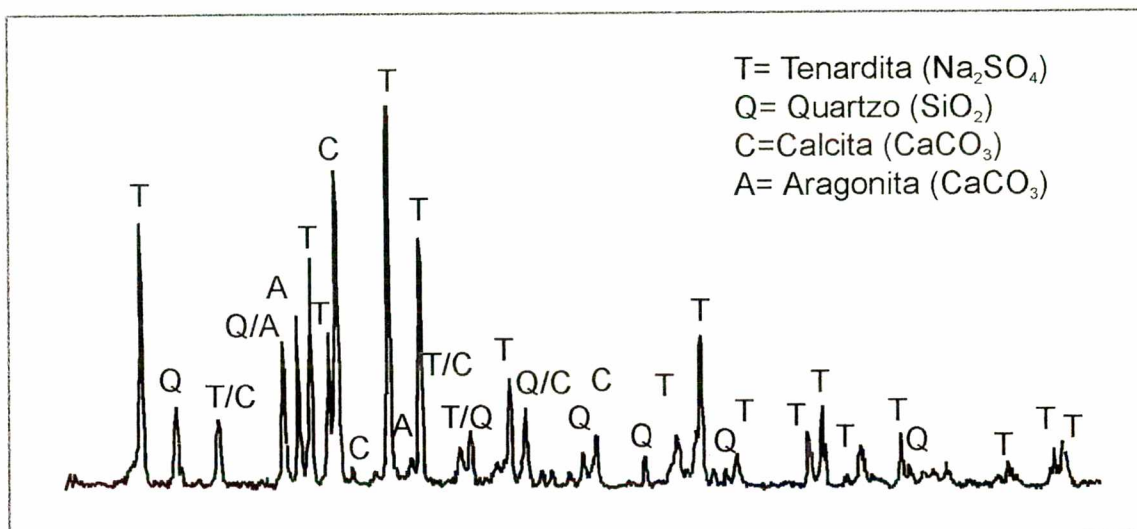
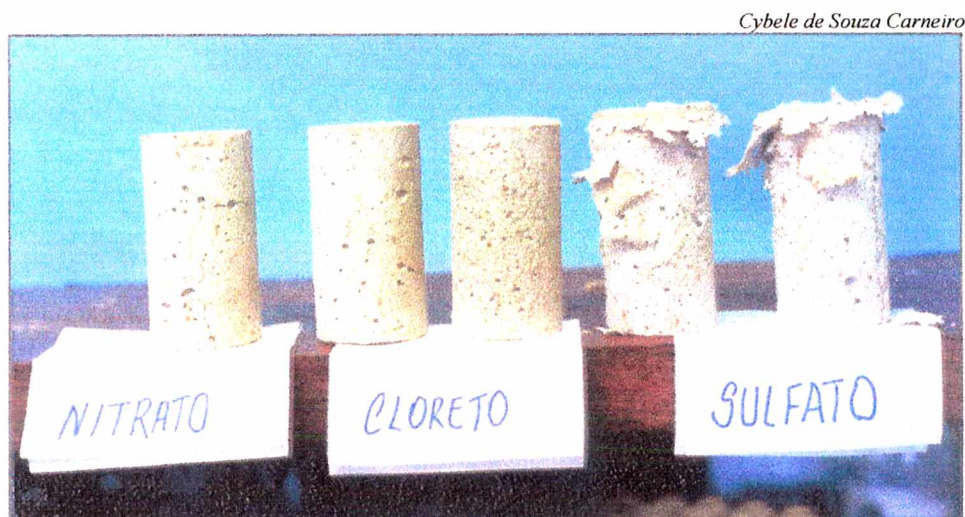


Gráfico 5 - Difratograma da amostra de argamassa composta por cal e areia e submetida a uma sobrecarga de sulfato de Sódio



Fotografia 22 - Visão geral de todos os corpos de prova à base de cal e areia, no sétimo ciclo de umidificação.

Semelhante aos resultados obtidos para a argamassa de cimento, cal e areia, o sulfato de sódio foi o sal que mais proporcionou danos imediatos a estas argamassas, provocando uma desagregação superficial, em formas de lamelas. O cloreto e o nitrato não se mostraram muito agressivos naquele momento. Decorridos dois anos, existe desagregação nos corpos de prova, num nível maior no corpo de prova de cloreto que no de nitrato.

Cybele de Souza Carneiro

Fotografia 23 - Desagregação dos corpos de prova à base de cal e areia, contaminados por sulfato de sódio, após o sétimo ciclo de umidificação e secagem.

6.5 Avaliação de danos provocados em paredes externas revestidas com argamassas diferentes submetidas a sobrecarga conjunta de sais.

Após os testes no interior do Laboratório, iniciou-se um experimento na área externa ao mesmo, com objetivo de melhor analisar o comportamento das argamassas, quando submetidas ao ambiente natural. Para tanto, construiu-se quatro módulos de paredes, com dimensões de 60 cm x 20 cm x 120 cm, com tijolos maciços. Estas paredes foram executadas sobre uma laje de concreto, sendo que em torno de cada uma delas foi deixado um rebaixo de 5 cm de altura por 10 de largura, de forma a que pudessem acumular uma certa quantidade de água com os sais higroscópicos.

Depois de construídas, aplicou-se o chapisco, em cimento e areia grossa, na proporção, em volume, de 1:4, respectivamente, em que aproximadamente 50 % da superfície das paredes, como forma a permitir a evaporação da umidade do interior de cada uma delas. A seguir, iniciou-se a execução de cada um dos diferentes revestimentos, tomando-se o cuidado de não efetuá-lo próximo a base das respectivas paredes, de modo que a água com sais tivesse um contato direto com os tijolos.

Resultados Obtidos em Laboratório

Na primeira parede foi utilizado como reboco, uma argamassa no traço 1:2:8, de cimento, cal e areia, em massa única, numa espessura aproximada de 2,0 cm.

A Segunda foi revestida com uma argamassa de cal hidratada no próprio laboratório, calcário moído e areia na proporção de 1:1:2, em duas camadas, sendo a primeira de 1,5 cm, com areia media fina e a segunda, de 3 mm de areia fina.

Semelhante ao processo utilizado na parede anterior, foi executado o revestimento da parede 3, variando-se apenas os materiais que foram a cal hidratada no laboratório, pó de tijolo e areia, semelhante a um dos tipos utilizados para testes no Palácio Cruz e Sousa.

Finalmente, a quarta parede, foi revestida com a argamassa desenvolvida no Laboratório de Tecnologia do Restauro, nas mesmas espessuras da segunda e terceira paredes.

Para a primeira camada foram utilizados 450 gramas de cimento Portland Pozolânico - CP IV - 32; 8,0 quilogramas de cal hidratada; 24,0 quilogramas de areia sendo 50 % de diâmetro 0,6 mm e 50 % de diâmetro 0,3 mm; 12 litros de poliestireno expandido com diâmetro inferior a 1,2 mm; 42 gramas de hidroxietil celulose HEC e 70 gramas de estearato de cálcio. Como esse material não foi suficiente para revestir todas as faces da parede, uma quantidade adicional de argamassa foi providenciada, mantendo-se a mesma proporcionalidade dos materiais componentes.

A segunda camada, ou seja a superfície de acabamento foi executada com 450 gramas de cimento Portland Pozolânico - CP IV - 32; 8,0 quilogramas de cal hidratada; 24,0 quilogramas de areia com diâmetro de 0,3 mm; 21 gramas de hidroxietil celulose HEC e 70 gramas de estearato de cálcio.

Após a conclusão desses revestimentos, aguardou-se 60 dias para as reações químicas acontecessem. A partir daí, iniciou-se a colocação de água com sais, na base de cada uma das paredes.

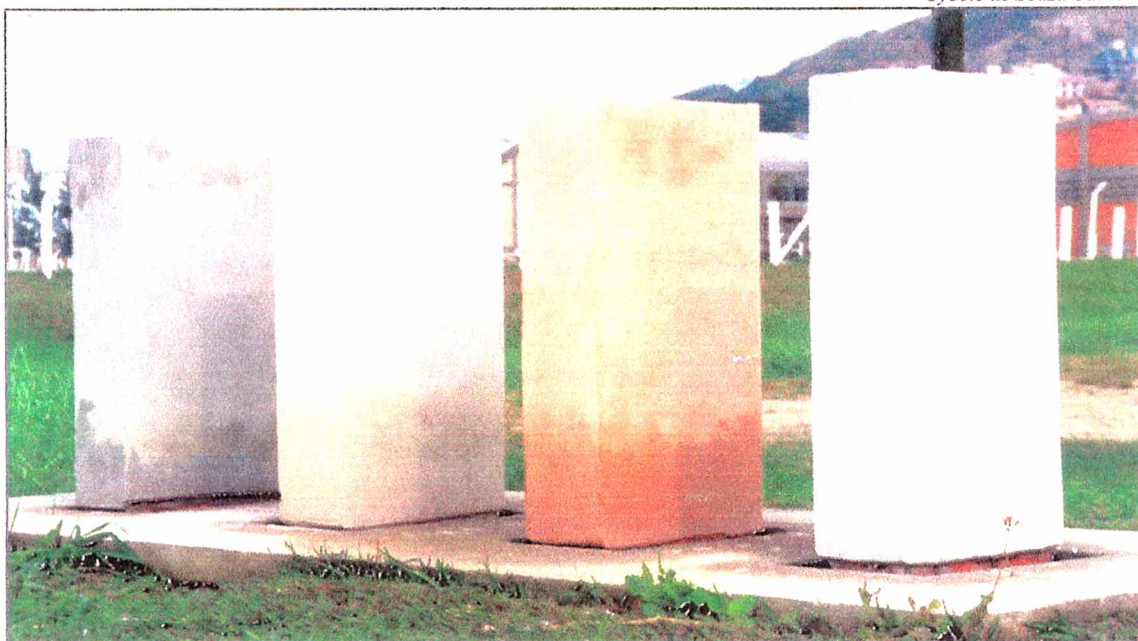
Estimou-se em 4 litros, o volume de água salgada para cada parede. O sais dissolvidos nesta água foram nas mesmas proporções utilizadas nos outros experimentos, compreendendo 35 g de cloreto de sódio, 15 g de nitrato de sódio e 5 g de sulfato de sódio, para cada litro de água. Normalmente, a cada três dias, novo volume de água salgada era colocado. Esta periodicidade era variável, em função das condições climáticas existentes. Foram realizadas 10 aplicações no total. A Fotografia 24 mostra a aparência dessas paredes após uma das citadas aplicações. Passado o período das aplicações, periodicamente era realizada uma avaliação visual nes-

Resultados Obtidos em Laboratório

sas paredes. Surgiram algumas fissuras em todos os rebocos, provavelmente devido a retração do material, sendo de maior intensidade no reboco de cal com pó calcário e no com pó de argila. O reboco que menos fissuras apresentou foi o desenvolvido no Laboratório de Tecnologia do Restauro.

Decorridos 10 dias da primeira aplicação de sais, surgiram os primeiros sinais de cristalização na superfície das paredes. A parede com pó de tijolo foi a mais atingida, principalmente na adjacência de suas microfissuras. Outra parede a iniciar o processo foi a de cal com pó calcário, sendo esta, no entanto, com menor intensidade.

Cybele de Souza Carneiro



Fotografia 24 - Paredes testes revestidas com rebocos especiais submetidos à sobrecarga de sais.

Quanto a umidade, a cada 6 meses estava programada uma avaliação, com a retirada de corpos de prova em três diferentes alturas e a duas profundidades. Infelizmente, passado 18 meses do início desse trabalho, vândalos derrubaram as paredes, não permitindo a avaliação completa do experimento. No entanto, nas duas retiradas de amostras realizadas, ficou evidenciado o bom desempenho, em relação a umidade, da argamassa com pó de tijolo e daquela desenvolvida no Laboratório.

Ressalta-se ainda, que em relação à ação dos sais, apesar do impedimento de se efetuar uma avaliação total, a argamassa à base de cal com pó calcário, apresentava visíveis sinais

Resultados Obtidos em Laboratório

de desagregação, com o estufamento localizado em vários pontos da parede. Na argamassa com pó de tijolo era visível a presença de eflorescências próximas às fissuras, sem no entanto apresentar desagregação. A argamassa de cimento, cal e areia, tinha na sua aparência muitas eflorescências, mas também sem qualquer sinal de desagregação. Finalmente a argamassa desenvolvida no laboratório apresentava com um aspecto muito bom, principalmente quanto a uniformidade de sua cor.

6.6 Considerações finais

Este capítulo, sem dúvida, apresenta um maior número de informações sobre a salinidade. Desde a ação dos sais nos tijolos e a continuidade do processo de deterioração, mesmo num ambiente relativamente protegido, passando pelos experimentos da ação dos sais nos diversos tipos de argamassas testadas e terminando pela verificação dos danos em paredes provocados pelos diferentes sais higroscópicos.

Salienta-se que apesar dos elevados teores de salinidade incorporados aos materiais testados e a temperatura relativamente alta a que os mesmos foram submetidos, que consequentemente resultaram numa rápida desagregação, não deve ser esquecido que o tempo transcorrido entre a contaminação e as anomalias foi muito curto, principalmente se comparado aos edifícios históricos. Nestas edificações, as condições normalmente são menos agressivas, mas a sua existência é muito mais ampla.

Registre-se ainda, a comprovação de que os rebocos quando submetidos à situações de umidade com sais higroscópicos devem ter características especiais, que possam prolongar a sua vida útil, conforme os resultados obtidos em 6.4.1.

Quanto a comparação do custo de sua confecção em relação as argamassas convencionais, embora não tenha sido apurado com precisão, pois os produtos foram doados pelas empresas produtoras, a estimativa de um valor de venda depende da quantidade a ser adquirida e a mão-de-obra adicional é muito difícil de ser avaliada, pode dizer que ficaria entre 15 e 30 % dos valores normais.

Finalmente, os resultados obtidos no período de testes mostraram que o sal mais danoso nas argamassas testadas foi o sulfato de sódio, diferentemente dos dados apresentados na Tabela 3.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 Conclusões

Como visto, existem muitos elementos que interagem com a preservação/restauração do Patrimônio Histórico. Diferente de outros tipos de serviços, algumas particularidades exigem preocupações adicionais, tornando, muitas vezes, o custo dos trabalhos relativamente alto, o que talvez possa influenciar algumas autoridades, menos esclarecidas, a não priorizar os investimentos nesse campo. Contudo, todos os recursos aplicados são plenamente justificados, pois irão possibilitar a continuidade de partes integrantes da herança cultural do povo.

Quanto ao edifício histórico em si, conforme foi apresentado, especialmente em razão da época em que foi construído, pode trazer consigo determinadas características técnicas, que favoreçam a ação de fenômenos prejudiciais ao desempenho de alguns de seus elementos construtivos. Dentre estes, destaca-se nas alvenarias, a umidade, que, na maioria das vezes, em função da estrutura porosa das argamassas, é um meio de transporte para carrear determinados produtos químicos. Os sais, são parte deles, que desenvolvem uma ação prejudicial, especialmente nas argamassas de reboco, necessitando pois de um tratamento especial.

Sob o ponto de vista tecnológico, muitas variáveis interferem no comportamento das argamassas. Algumas delas, podem ser controladas, outras, mais ligadas ao clima externo, fogem ao controle do homem e devem ser monitoradas convenientemente.

Quando não é possível eliminar a umidade existente no interior das paredes, determinadas características das argamassas de reboco podem ser melhoradas, com objetivo de enfrentar estes fenômenos, com resultados positivos, se não de forma definitiva, pelo menos prolongando a vida útil desses elementos e reduzindo, por consequência, os custos de manutenção e ou reparação do edifício.

Para a confecção dessa argamassa devem ser acrescentados, no mínimo, alguns aditivos tais como: agregado leve, hidrofugante, incorporador de ar e retentor de água. Estes produtos possibilitarão uma vida útil maior para o reboco. Este reboco, conhecido como

Conclusões e Recomendações

sanierputz na Alemanha, foi denominado, após os trabalhos na Fortaleza de Santa Cruz, em Anhatomirim como *reboco de recuperação*.

Estudos de campo evidenciaram a presença constante de sais em vários edifícios históricos da região, predominantemente os cloretos e sulfatos, sendo que em alguns deles os níveis estavam excessivamente altos.

Reforça-se a necessidade de execução de testes simplificados como forma de inicialmente comprovar a existência do sal para, num segundo momento, remeter as amostras para os ensaios quantitativos, como forma de reduzir os custos de um diagnóstico de salinidade. Os testes realizados no laboratório de Tecnologia do Restauro mostraram, a ação danosa dos principais sais higroscópicos em tijolos e argamassas convencionais, ao mesmo tempo que comprovava a eficácia de uma argamassa contra esses danos, confeccionada no próprio laboratório. Esta argamassa, semelhante a um reboco de recuperação, teve incorporado alguns produtos, citados anteriormente, além de ter a granulometria da areia proporcionada convenientemente.

Em experimentos posteriores, registrou-se, através de fotografias, a ação desses sais, cloreto, nitrato e sulfato, todos de sódio, nas argamassas à base de cimento, cal e areia e apenas de cal e areia. Concluiu-se que o sal mais danoso nas argamassas analisadas no período de testes foi o sulfato de sódio.

Salienta-se ainda, que mesmo este tipo especial de argamassa, não é uma solução definitiva, pois dependendo da concentração e do tipo de sal nos rebocos a degradação acontecerá após um período de contaminação.

7.2 Recomendações para futuros trabalhos

Neste trabalho, não foi testada, a compatibilidade da argamassa proposta com as tintas, pois formam um sistema único reboco/tinta. Sabe-se, no entanto que estas devem permitir a evaporação da umidade e para que isso aconteça deve ser mineral, sem formação de filme impermeabilizante à passagem de vapor, podendo ser à base de silicatos (sódio ou potássio) ou à base de cal, cuja vida útil é inferior a anterior.

Outros requisitos técnicos devem ser atendidos pelas argamassas de reboco que não estavam propostos para serem estudados. Recomenda-se pois, a complementação

Conclusões e Recomendações

da composição da argamassa proposta, através de materiais que possam oferecer outras qualidades a mistura, além da sua compatibilidade à ocorrência dos fenômenos de umidade e salinidade.

A determinação da influência da granulometria dos agregados utilizados na confecção de uma argamassa para ser utilizada como reboco de recuperação também é uma alternativa para estudos mais aprofundados.

Quanto aos sais, existe a necessidade de relacionar-se o nível de danos, no tempo, em função da quantidade existente na argamassa. Estes graus de deterioração devem ser definidos para cada sal em particular e para a ação desses sais, em conjunto.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARENDT, Claus. Métodos de Tratamento de Alvenarias Deterioradas: Utilização de Rebo-
cos de Recuperação e Medidas de Combate aos Sais. In: “Seminário de Recuperação
de Obras Históricas de Engenharia e Arquitetura: Avaliação do Estado de Conserva-
ção, Análise, Diagnóstico e Terapia”. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande
do Sul, 1995.
- BEICHEL, Adolf. Restauração de Alvenaria Úmida com Salinidade. In “II Simpósio Brasi-
leiro de Tecnologia das Argamassas”, Anais. Salvador CETA/ANTAC, 1997.
- BIBLIA DE JERUSALEM. Tradução de la Saint Bible. Direção Tiago Girando. São Pau-
lo: Edições Paulinas, 1973.
- BUENO, Eduardo. História do Brasil. Porto Alegre: Zero Hora/RBS Jornal, sd.
- BUERGO, Mônica Alvarez de e LIMÓN, Tereza Gonzalez. Restauración de Edificios
Monumentales. Madri: Laboratorio Central de Estructuras y Materiales - Centro de
Estudios y Experimentación de Obras Públicas, 1994.
- CASTRO, Sônia Rabelo de. O Estado na preservação dos bens culturais. Rio de Janeiro:
Renovar, 1991.
- COLLEPARDI, M. Degradation and Restoration of Mansory Walls of Historic Buildings.
Materials and Structures. RILEM, 1990.
- DIAS, Cláudio Renato Rodrigues e CUNHA, Ronaldo Ortiz. O Uso de argamassa de
Saneamento na Restauração da Catedral de São Pedro na Cidade de Rio Grande. In:
“IV Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções e VI Congresso de Con-
trole de Qualidade”. Anais. . Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do
Sul, v. 2, 1997.
- FEILDEN, Bernard M. Conservation Historic Buildings. Oxford: Butterworth Architecture,
1994.
- GEHO-CEB. Durabilidad de Estructuras de Hormigón - Guia de Diseño CEB. Boletín nº
12. Madrid: Grupo Espanhol del Hormigón, 1996.
- HARDWICK, E. RUSSEL. Química. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1965.

Referências Bibliográficas

- HENRIQUES, Fernando M. A. Humidade em Paredes. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1995.
- MEHTA, P. Kumar e MONTEIRO, Paulo J. M. Concreto - Estrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo: Pini, 1994.
- MUNSEL COLOR. Munsel Soil Charts. New York: Macbeth Division of Kollmorgen Instruments Corporation, 1994.
- NAPPI, Sérgio C. Branco. Relatório de Diagnóstico de Umidade e Salinidade do Palácio Cruz e Sousa. Florianópolis: 1998.
- NAPPI, Sérgio C. Branco. Rebocos de Recuperação - Relatório de Pesquisa. Florianópolis: 1998.
- NAPPI, Sérgio C. Branco. Levantamentos de Danos provocados por Salinidade em alguns Edifícios Históricos Tombados de Florianópolis - Relatório de Pesquisa. Florianópolis: 1998.
- NAPPI, Sérgio C. B. e TONERA, Roberto, PELUSO, Simone. Tintas para Edifícios Históricos. In: "Congresso de Engenharia Civil". CREA/ACE. Florianópolis: 2000.
- NAVARRO, Carlos Rodrigues; DOEHNE, Eric; SEBASTIAN, Eduardo. How does Sodium Sulphate Crystallize? Implications for the Decay and Testing of Building Materials. New York: Cement and Concrete Research 30, 2000.
- NEVILLE, Adam M. Propriedades do Concreto. São Paulo: Pini, 1997.
- NETTO, Carmo Gallo. Química: da teoria à realidade. São Paulo: Scipione, 1995.
- OLIVEIRA, Mário Mendonça de. Argamassa de Conservação de Edifícios. In "Seminário sobre Recuperação de Obras Históricas de Engenharia e Arquitetura Avaliação do Estado de Conservação, Análise, Diagnóstico e Terapia". Porto Alegre: 1995.
- PETRUCCI, Eládio G. R.. Materiais de Construção - Editora Globo. Porto Alegre, 1975.
- SILVA, Moema Ribas. Materiais de Construção. São Paulo: Editora Pini, 1985.
- SOUZA, Sara Regina Silveira de. A Presença Portuguesa na Ilha de Santa Catarina. Fundação Catarinense de Cultura. Florianópolis: 1981.
- TEDESCHI, Giordano. Colorificio Attiva. Silikat: la pittura minerale per il recupero dei centri storici. Dossier Convegno'83. Milão: Editora GBP, 1984.

Referências Bibliográficas

- TONERA, Roberto. Alvenarias Degradadas por Umidade e Salinidade - Estudo de Caso na Fortaleza de Anhatomirim. Relatório de Atividades. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: 1997.
- TRISTÃO, Fernando Avancini. Influência da Composição Granulométrica da Areia nas Propriedades das argamassas de Revestimento. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1995.
- WTA WISSEENSCHAFTLICH-TECHNISCHE ARBEITSGEMEINSCHAFT. Caderno de Recomendações - Sistema de Rebocos de Recuperação. In “Seminário Sobre Recuperação de Obras Históricas de Engenharia e Arquitetura Avaliação do Estado de Conservação, Análise, Diagnóstico e Terapia “. Porto Alegre: 1995.

9 BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ, J. I.; NAVARRO, I.; MARTIN, A. e GARCIA CASADO, P. J.. A study of the ancient mortars in the north tower of Pamplona's San Cernin church. Cement e Concrete Research 30. Grain Britain: Elsevier Science Limited., 2000.
- AMOROSO, Giovanni G. e CAMAITI, Mara. Scienza dei materiali e restauro. Firenze: Alinea Editrice, 1997.
- ARENDT, Claus. Metodologia dos Exames e seu Significado para a Recuperação de Edificações Históricas. In: "Seminário de Recuperação de Obras Históricas de Engenharia e Arquitetura: Avaliação do Estado de Conservação, Análise , Diagnóstico e Terapia". Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.
- ARENDT, Claus. Altbausanierungsfaden zur erhaltungund modernisierung Alter Hauser. Saneamento de Edifícios Antigos - Um Guia para a sua conservação e modernização. Tradução Betina Adams. 1995.
- ATZENI, G.; CABIDDU, M. G.; MASSIDDA, L. e SANNA U.. Crystalization of sodium sulphate in polymer impregnated plasters. Cement e Concrete Composites 17. Grain Britain: Elsevier Science Limited., 1995.
- ÁVILA, Affonso; GONTIJO, João Marcos M. e MACHADO, Reinaldo Guedes. Barroco mineiro - Glossário de arquitetura e ornamentação. São Paulo: Fundação João Pinheiro, Fundação Roberto Marinho e Companhia Editora Nacional, 1980.
- BUNGEY, J. H.. The testing of concrete in structures. New York: Surrey University Press, 1989.
- BURGI, Sérgio; MENDES, Marylka e BAPTISTA, Antônio Carlos Nunes. Materiais empregados em conservação-restauração de bens culturais. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Conservação-Restauração de Bens Culturais, 1990.
- CARASEK, Helena, CASCUDO, Oswaldo. Avaliação e restauração de revestimentos de argamassa. In: "II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas". Anais. Salvador: CETA/ANTAC, 1997.

Bibliografia

- CARASEK, Helena, CASCUDO, Oswaldo. Técnicas auxiliares no diagnóstico de manifestações patológicas e na restauração das argamassas de revestimento. In: "IV Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle de Qualidade". Anais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v.2, 1997.
- CARRIO, Juan Monjo. Patologia de cerramientos y acabados arquitetonicos. Madrid: Editoria Munilla-Leria, 1997.
- CAVANI, Gilberto Ranieri; QUARCIONE, Valdecir Ângelo e NASCIMENTO, Cláudia Bastos da. Formulação e avaliação de argamassa de revestimento para restauração de fachada - estudo de caso. In: "3º Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas". Anais. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, v.2, 1999.
- CINCOTTO, Maria Alba. A Cal na Patologia das Argamassas. São Paulo: Associação Brasileira dos Produtores de Cal, 1985.
- DIAS, Cláudio Renato Rodrigues e CUNHA, Ronaldo Ortiz. Restauração da Catedral de São Pedro: Um resgate da história para a memória cultural da cidade. In: "IV Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle de Qualidade". Anais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v.2, 1997.
- FU, Yan; DING, Jian e BEAUDOIN, J. J.. Expasion of Portland cement due to internal sulphate attack. Cement e Concrete Research V. 27, Nº 8. Elsevier Science Limited., 1996.
- FUNDAÇÃO CATARINENSE DE CULTURA. Revisão Técnica dos Tombamentos Estaduais de Dezembro de 1994. Projeto Arquitetura Religiosa no Litoral de Santa Catarina. 1997.
- GIOVANNI G. Amoroso e CAMAITI, Mara. Scienza dei Materiali e Restauro. Firenze: Alinea Editrice, 1997.
- GAZE, M. E. e CRAMMOND, N. J.. The formation of thaumasite in cement: lime: sand mortar exposed to cold magnesium and potassium sulphate. Cement e Concrete Composites 22. Elsevier Science Limited., 2000.
- GOMES, Adailton de Oliveira e MACIEL, Luciana Leone. Estudo da argamassa de cal para restauração de edifícios históricos. In: "3º Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas". Anais. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, v. 2, 1999.

Bibliografia

- GLEIZE, Philippe; NAPPI, Sérgio C. B. e SILVA, Denise Antunes. Caracterização de revestimentos de argamassa do Palácio Cruz e Souza. In: “3º Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas”. Anais. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, v. 2, 1999.
- GULEC, Ahmet e ERSEN, Ahmet. Characterization of Ancient Mortars: Evaluation of Simple and Sophisticated Methods. Journal fo Architectural Conservation. No 1, March, 1998.
- IGS. Festung Anhatomirim - Ergebnisse der Untersuchungen zur Salsbelastung. Fortaleza de Anhatomirim - Resultados das investigações relativas à salinidade. Tradução Betina Adams; 1995
- INSTITUT FÜR GEBÄUDEANALYSE UND SANIERUNGSPLANUNG -IGS. Folha de Instruções Técnicas. Tradução Betina Adams. 1995.
- KANAN, Maria Isabel Correa. Tecnologia do restauro arquitetônico: argamassas e tintas à base de cal. In: “3º Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas”. Anais. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, v. 2,1999.
- LEA, F. M.. The chemistry of cement and concrete. London: Edward Arnold Publisschers Ltd., 1970.
- LEVY, S. Mony, HELENE, Paulo Roberto do Lago. A Pequena História de uma Grande Obra “Restauração das fachadas do Mercado Municipal de São Paulo”. In: “IV Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle de Qualidade”. Anais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v. 2, 1997.
- MASCARELO, Sônia Nara P. R. et all. Patrimônio Cultural - Documentos Internacionais e Nacionais sobre Preservação de Bens Culturais. São Leopoldo: Unisinos, 1986.
- MASSARI, Giovanni e Ippolito. Risanamento igienico dei locali umidi. Milano: Editore Ulrico Hoepli., 1998.
- MENEZES, Dalma Lucia et all. Igreja São João Batista - Rio Vermelho. Trabalho de Aula - Disciplina Materiais de Construção VI. Curso de Arquitetura e Urbanismo, UFSC. Florianópolis, 1996.
- JOISEL, Albert. Fissuras y grietas en morteiros y hormigones - sus causas y remedios. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, S. A., 1975.

Bibliografia

- MORA, P.; MORA, L. e PHILIPPOT, P. Conservation of wall paintings. Glasgow: Butterworths, 1984.
- MOROPOULOU, A.; BISCONTIN, G.; BAKOLAS, ^a e BISBIKOU, K. Technology and behavior of rubble masonry mortars. Construction and Building Materials, Grain Britain: v. 11 nº 2., 1997.
- NAPPI, Sérgio C. B. e TONERA, Roberto. Alvenarias Degradadas por Umidade e Salinidade - Estudo de Caso na Fortaleza de Anhatomirim. In: "IV Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle de Qualidade". Anais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v.2, 1997.
- NAPPI, Sérgio C. B. e TONERA, Roberto. Rebocos de Recuperação. In: "IV Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle de Qualidade". Anais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. v.2, 1997.
- NAPPI, Sérgio C. B. e TONERA, Roberto. Rebocos de recuperação e processo de dessalinização por eletrólise. In: "workshop - Durabilidade das Construções". Anais. São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 1997.
- NAPPI, Sérgio C. B. e TONERA, Roberto. Recuperação de Danos em Edifícios Históricos. In: "Congresso Técnico-Científico de Engenharia Civil". Universidade Federal de Santa Catarina.: 1995. v.4.
- NAPPI, Sérgio C. B. Umidade em Paredes. In: "Congresso Técnico-Científico de Engenharia Civil". Anais. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, v. 4, 1995.
- NAPPI, Sérgio C. B. Análise Comparativa entre Lajes Maciças, com Vigotes Pré-moldados e Nervuradas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1993.
- NEVES, Célia; ALMEIDA, Ana Helena; LIMA, Juliana; ALMEIDA, Tatiana. Influência de Cloretos e Sulfatos Solúveis nas Propriedades das Argamassas. In "II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas". Anais. Salvador: CETA/ANTAC, 1997.
- NAVARRO, Carlos Rodrigues; DOEHNE, Eric; SEBASTIAN, Eduardo. How does sodium sulphate crystallize? Implications for the decay and testing of building materials. New York: Cement and Concrete Research 30, 2000.

Bibliografia

- OROZ, Alejandra E., DOLMANN Inês T.. Importancia del diagnostico tecnico en la restauración de edificios. restauración “San Martin”, sede de la Cancillería Argentina. In: “IV Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle de Qualidade”. Anais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v. 2, 1997.
- OLIVEIRA, Mário Mendonça de. Tecnologia da Conservação e Restauração: materiais e estruturas: roteiro. Salvador. Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Salvador: UFBA/PNUD/UNESCO, 1995.
- PIGEON, M.; AZZABI, M. e PLEAU, R.. Can microfibers prevent frost damage? Cement e Concrete Research V.26, Nº 8. Elsevier Science Limited., 1996.
- PIZZI, Celso Oscar; GUEVARA Matrtha B.; SAURIT, Sebastian. Prospección y análisis de revestimientos interiores y exteriores en una residencia de principios de siglo en Capital Federal Argentina. In: “IV Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle de Qualidade”. Anais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v. 2, 1997.
- PONS, Agustín Portales y NONELL, Juan Bassegoda. Restauración de Monumentos. Barcelona: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, 1989.
- RENDELL, Frank e JAUBERTHIE, Raoul. The deterioration of mortar in environments. Construction and Building Materials 13. Grain Britain: Elsevier Science Limited, 1999.
- RIBEIRO, Rosina Trevisan. Recuperação de obras históricas - Restauração da casa França-Brasil. In: “IV Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle de Qualidade”. Anais. Porto Alegre:Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v. 2, 1997.
- RODRIGUES, José Wasth. Documentário Arquitetônico. São Paulo: Editora Itatiaia e Editora da Universidade de São Paulo, 1979.
- RUARO Paulo, GREVEN, Hélio Adão, DAL MOLIN Denise Carpena. Avaliação do Sistema Eletro-osmótico Ativo - SEOA na dessalinização de alvenarias de edificações históricas. In: “IV Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle de Qualidade”. Anais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v. 2, 1997.

Bibliografia

- SACCANI, A.; BONORA, P. e MONARI, P.. Laboratory short-term evaluation of ASR. A contribution. Cement e Concrete Research 31. Elsevier Science Limited., 2001.
- SEELE, Jörg. Medidas de Combate à Umidade e Salinidade em Monumentos Históricos - Relatório Técnico. Estudo de Caso - A Fortaleza de Santa Cruz na Ilha de Anhatomirim. 1998.
- SHIRAKAWA, Márcia Aiko; CINCOTTO, Maria Alba; Carneiro, Arnaldo M. P. e GAMBALE, Walderez. Atividade de água e bideterioração de argamassas por fungos filamentosos. In: “II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas”. Anais. Salvador: CETA/ANTAC, 1997.
- SILVA FILHO, Luiz Carlos Pinto da. Durabilidade do concreto à ação dos sulfatos: Análise do efeito da permeação de água e da adição de microssílica. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1994.
- SOUZA, Alcídio Mafra de. Guia dos Bens Tombados - Santa Catarina. Rio de Janeiro: Expressão e Cultura; 1992.
- SOUZA, Gersey de Freitas. Eflorescências nas argamassas de revestimento. In: “II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas”. Anais. Salvador: CETA/ANTAC, 1997.
- TEUTONICO, Jeanne M. A Laboratory Manual for Architectural Conservation. International Centre for Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property. Roma: (ICCROM), 1986.
- TRAVI, Valerio. Le Pinture Ai Silicati. Tecnica e Storia - Pinturaziona. Milano: Editora GBP .. S. D.
- UEMOTO, Kai Loh. Pintura à base de cal. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas: Associação Brasileira dos Produtores de Cal, 1993.
- VEIGA, Eliane Veras da. Florianópolis - Memória Urbana. Florianópolis: Editora da UFSC e Fundação Franklin Cascaes, 1993.
- WILSON, Forrest. Building materials evaluation handbook. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc., 1983.
- ZIAD, Al-Saad; MOHAMED, A. H. Abbdel-Halim. Laboratory evaluation of various types of mortars for the conservation of Qsahr al-Bint monument, Petra-Jordam. Engineering Structures 23. Elsevier Science Limited, 2001.

